

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

3.2015

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2015, Issue 3, Volume 225

Хмельницький

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

Затверджений як фахове видання
Наказ МОН 04.07.2014 №793

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2015, № 3 (225)

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

Включено до наукометричних баз:

РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
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
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор

Скиба М. Є., заслужений працівник народної освіти України,
член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України,
д.т.н., професор, ректор Хмельницького національного університету

**Заступник головного
редактора**

Параска Г. Б., д.т.н., професор, проректор з наукової роботи
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., Сорокатиї Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Троцишин І.В., д.т.н., Шалапко Ю.І., 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.

Технічний редактор

Горященко К. Л., к.т.н.

Редактор-коректор

Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 11 від 27.05.2015 р.**

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

(	(038-22) 2-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vesnik
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.
Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2015
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького
національного університету", 2015

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ**В.В. КОВТУН, О.А. ДОРОФЄЄВ**

ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТУ ТЕОРІЇ ПЛАСТИЧНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДИСКРЕТНОГО СЕРЕДОВИЩА 6

О.І. НЕКОЗ, В.І. ОСИПЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА, О.В. БАТРАЧЕНКО

ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР РІЗАЛЬНОГО ВУЗЛА ВОВЧКІВ 13

Я.Т. КІНИЦЬКИЙ, О.В. ГОЛОВКО, М.В. МАРЧЕНКО

ВИКОРИСТАННЯ ШАТУННИХ КРИВИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДВОКРИВОШИПНИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ З РЕГУЛЬОВАНОЮ АМПЛІТУДОЮ КОЛИВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ 19

Г.М. СОКОЛОВА

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ АЗОТОВАНИХ СТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ГЕОМЕТРІЇ БАГАТОВИМІРНОГО ПРОСТОРУ 22

Ю.Б. ЛИУШ

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В КАМЕРЕ 27

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, М.І. ШОЛУДЬКО, О.З. КОЛИСКО, В.Ю. КАЛАШНИК

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ НИТКИ З НАПРЯМНИМИ З УРАХУВАННЯМ АНІЗОТРОПІЇ ФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ 30

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВИХ ТОЧОК ЧЕБИШЕВА ДЛЯ СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ 34

Г.С. РАТУШНЯК, І.А. КОЩЕЄВ

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СКЛАДОВИХ МОДЕЛІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БІОРЕАКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ 41

В.А. ТОЛБАТОВ, О.А. ДОБРОРОДНОВ, А.В. ТОЛБАТОВ, О.Б. В'ЮНЕНКО

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХИСТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД ВІДМОВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ 46

Г.В. ЩУЦЬКА

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ЛИСТОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ 51

П.А. БАРАБАШ, Я.Е. ТРОКОЗ, В.Я. ГОРИН, В.В. ГОРИН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООТДАЧИ ПОТОКА ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТРУБАХ С ПРОДОЛЬНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ 56

Е.А. МАНЗЮК, П.Г. КАПУСТЕНСЬКИЙ

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РОТАЦІЙНИХ ЧОВНИКОВИХ КОМПЛЕКТІВ НА БАЗІ КОНСТРУКЦІЙНИХ РІШЕНЬ 63

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК**

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ НАНОТЕКСТИЛЮ 73

С.А. КАРВАН, А.Я. ГАНЗЮК

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ АНТИСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 77

Л.Є. ГАЛАВСЬКА ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗТЯЖНОСТІ ТА ЗАКРУЧУВАНOSTІ ПОДВІЙНОГО НЕПОВНОГО ТРИКОТАЖУ	80
Н.П. ЛЯЛІНА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОДНОДОМНИХ І ДВОДОМНИХ КОНОПЕЛЬ	86
О.З. МИКИТИН ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ БЕЗПЕЧНОСТІ М'ЯКОНАБИВНИХ ІГРАШОК ВИМОГАМ ТЕХНІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ	89
М.В. ПАСЕЧНИК ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СДВИГА НА ВЯЗКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА	96
О.В. СКІДАН, Т.А. НАДОПТА, І.М. ПАСТУХ ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОП ДІТЕЙ-ШКОЛЯРІВ	101
О.А. ПАРАСКА, С.А. КАРВАН, Т.С. РАК ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН	107
М.О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю.В. КОШЕВКО КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОВІДЦЕНТРОВОГО СПОСОБУ ФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ	112
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
Н.А. ФИЛИНЮК, Л.Б. ЛИЩИНСКАЯ, Е.В. ВОЙЦЕХОВСКАЯ, В.П. СТАХОВ МОНОИМИТАНСНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ RLC-ЭЛЕМЕНТЫ	117
В.В. ПАЛАГІН МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВІЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ПРИ АДИТИВНО- МУЛЬТИПЛІКАТИВНИХ АСИМЕТРИЧНО-ЕКСЦЕСНИХ НЕГАУСОВИХ ЗАВАДАХ	123
А.В. КРАСІЙ НЕЙРОМЕРЕЖНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ПРОЕКТУ	132
С.І. МЕЛЬНИЧУК, М.В. КОРОПЕЦЬКА, І.З. МАНУЛЯК ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ОБЧИСЛЕННЯ ОЦІНОК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ ОБМІНУ ДАНИМИ	141
К.С. ДЄСВ, Ю.В. БОЙКО АНАЛІЗ МЕТРИК ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ІР ВЗАЄМОДІЇ	149
С.М. БАБІЙ, О.Л. ТИМОШЕНКО ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ АНАЛОГОВИХ КЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗІ КОНТРОЛЕРА LOGO	155
Л.О. ДУБЧАК ЗАСІБ РОЗПОДІЛУ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ	160
Н.М. ВАСИЛЬКІВ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ЯК ЗАСІБ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ОБРОБЛЕННІ СИГНАЛІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	165
Ю.М. ТЕСЛЯ, Є.Є. ШАБАЛА ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ПРИРОДОМОВНОГО ТЕКСТУ БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕМАТИКИ	172

Я.В. КОРПАНЬ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ КОМПРЕСІЇ-ДЕКОМПРЕСІЇ ЦИФРОВИХ ВІДЕОДАНИХ	175
Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, Б.П. КНИШ, М.О. СТАСЮК МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ КІЛЬКІСНОГО ВМІСТУ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ	180
О.Є. РУБАНЕНКО, В.А. МАТВІЙЧУК, О.О. РУБАНЕНКО ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДІЛЯНКИ ІЗ ЗНИЖЕНИМ ОПОРОМ ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖІ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ	187
О.Є. РУБАНЕНКО, Ю.Г. ВЕДМІЩЬКИЙ, С.В. МИСЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ	195
В.Г. ПЕТРУК, О.Є. КВАТЕРНЮК, Ю.С. ЛЮБЧАК, С.М. КВАТЕРНЮК РОЗВИТОК МЕТОДУ ЦИФРОВОЇ КОЛОРИМЕТРІЇ БІОТКАНИН ТА АЛГОРИТМ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	198
Т.Б. МАРТИНЮК, А.В. КОЖЕМ'ЯКО, Л.М. КУПЕРШТЕЙН ВЛАСТИВОСТІ МАТРИЦІ ЕЛЕМЕНТІВ ДИСКРИМІНАНТНИХ ФУНКЦІЙ	202
Д.А. МАКАРИШКІН, І.О. ПЕШКОВА, О. С. ШИМКОВ, Р.П. ГЛАДСЬКИЙ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОТАКТНОГО ТВЕРДОТІЛОГО МОДУЛЯТОРА	205
В.В. ІВАНОВА, А.О. КИЯНИЦЯ, С.В. КОЛОБРОДОВ ДАЛЬНІСТЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОВІЗОРОМ НА ПРОЕЛЕКТРИЧНІЙ МАТРИЦІ	214
В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, С.О. СТЕПАНОВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИСПЕРСІЇ ТА НЕЛІНІЙНИХ ЕФЕКТІВ НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМ	218
В.Д. КОСЕНКОВ, Д.А. ІВЛЕВ, А.В. ЯКОВЛЕВ ОГРАНИЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА ИНДУКТОРНОГО ТИПА	224
А.О. ІГНАТОВИЧ КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БЛОКОВИХ ШИФРІВ	228
В.Р. ЛЮБЧИК, В.І. СТЕЦЮК, І.В. ФАЙФУРА АНАЛІЗ І ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ	232
В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, М.І. ШПАНЬКО ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ САМООРГАНІЗУЮЧИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ГОЛОВНИХ ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК ШАХТ	238
V.V. ROMANUK MATLAB GPUARRAY METHOD OPTIMAL USE FOR SQUARE MATRIX PRODUCT	243

УДК 624.13

В.В. КОВТУН, О.А. ДОРОФЄЄВ

Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТУ ТЕОРІЇ ПЛАСТИЧНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДИСКРЕТНОГО СЕРЕДОВИЩА

В статті обґрунтовується можливість використання апарату теорії пластичності для оцінки напружено-деформованого стану дискретного середовища з урахуванням принципових відмінностей законів деформування пластичних і дискретних середовищ.

Ключові слова: дискретне середовище; внутрішнє кулонове тертя; дилатансія.

V.V. KOVTUN, O.A. DOROFYEV

Khmelnytskyi National University

USING THE APPARATUS OF THE THEORY OF PLASTICITY FOR THE EVALUATION OF THE DEFLECTED MODE OF A DISCRETE MEDIUM

The possibility of using the theory of plasticity for the evaluation of the strained state of a discrete medium, taking into account the fundamental differences between the laws of plastic deformation and discrete media is proved in the article.

The most promising for this seems to be using plastic flow rheological models that take into account the specific features of discrete materials deformation such as the internal friction impact and dilatation.

There are three fundamental differences between discrete deformation of materials and plastic deformation of solids: the impact of internal Coulomb friction on the deformation process as in the extreme, and in unlimited states; dilatation and the significant impact on the nature of the material deformation which affects discrete type of stress-strain condition.

It was admitted that one of the possible reasons for failing the conditions of fields coaxiality characteristics can be discrepancy of structures in stress tensors and speed deformation. This assumption proves how to satisfy the condition of coaxiality characteristics in stress fields and speed deformation.

Keywords: discrete environment, internal Coulomb friction; dilatation.

Вступ

Дискретне середовище з позицій механіки деформівного тіла розглядається як область (континуум), що заповнена частинками твердого матеріалу: зернистого, сипкого, гранульованого, дисперсного і т.п. Частинки взаємодіють між собою через безліч довільно орієнтованих контактів, які не сприймають розтяжних зусиль. Таке середовище опирається зовнішнім силовим чи кінематичним збуренням тільки завдяки силам кулонівського тертя, що виникають в місцях контакту частинок, і які пропорційні нормальним притискним контактним зусиллям. Іншими словами, опір такого середовища дії зовнішніх навантажень створюється тільки силами внутрішнього сухого тертя.

На відміну від статички сипкого середовища, дискретне середовище вважається таким, що деформується. Його деформації відбуваються переважно за рахунок взаємного проковзування жорстких частинок.

Інженерні розрахунки, пов'язані з оцінкою взаємодії дискретного середовища і контактуючими з ним конструкціями, зводяться до аналізу напружено-деформованого стану середовища від дії зовнішніх силових чи кінематичних збурень. Ці розрахунки можуть бути здійснені тільки з використанням реологічної моделі дискретного середовища, яка описувала б його стан на усіх етапах деформування.

Аналіз відомих реологічних моделей механіки деформівних середовищ [1] показав, що найбільш перспективними щодо дискретного середовища можна вважати моделі теорії пластичності з особливими, характерними для дискретних матеріалів, умовами пластичності. Для впровадження таких моделей необхідно встановити характерні особливості законів деформування дискретних матеріалів і їх відповідність законам пластичного деформування твердих тіл, покладених в основу класичної теорії пластичності.

Постановка задачі досліджень

Метою описаних в статті досліджень є обґрунтування можливості використання апарату теорії пластичності для аналізу напружено-деформованого стану дискретного середовища.

Стан проблеми

Теорія пластичності є відносно новою гілкою механіки деформівного тіла. Вона розглядає стан твердих тіл, переважно металів, за межами пружного деформування. Визначальні співвідношення, що покладені в основу теорії пластичності, носять феноменологічний характер, тобто поєднують теоретичні положення механіки твердого деформівного тіла з експериментально встановленими законами пластичного деформування твердих тіл.

У формулюванні задач теорії пластичності використовуються три групи рівнянь: статичні диференціальні рівняння, які забезпечують виконання умови рівноваги; геометричні рівняння нерозривності, що відображають умову суцільності середовища; а також фізичні рівняння залежності напруженого і деформованого станів, які описують експериментально встановлені закони деформування

твердих тіл за межами пружності.

Для обґрунтування можливості використання апарату теорії пластичності щодо дискретних матеріалів зіставимо вихідні положення теорії пластичності з особливостями деформування дискретних матеріалів.

1. В усіх теоріях механіки твердого деформівного тіла приймається фундаментальне припущення, що матеріал незалежно від його кристалічної чи молекулярної структури вважається суцільним і однорідним. Гіпотеза про суцільність використовується в моделях механіки ґрунтів та зернистих матеріалів, які по суті є макродискретними матеріалами, за умови що характерний розмір частинок матеріалу на порядок менший характерних розмірів розрахункової області. Вказана умова обґрунтовує можливість прийняти гіпотезу квазісуцільності щодо дискретного середовища. Це дозволяє перейти від розгляду зусиль та взаємних переміщень в контактах суміжних частинок до атрибутів суцільного середовища – напружень та деформацій в кожній точці розрахункової області і безпосередньо використовувати рівняння рівноваги і нерозривності в формі, що прийнята в теорії пластичності, при побудові реологічної моделі дискретного середовища.

2. Зіставимо природу залишкових (пластичних) деформацій металів і дискретних матеріалів. Пластичне деформування металів відбувається за рахунок зсувів макрокристалів. Опір цим зсувам чинять граничні дотичні напруження, що виникають по площинках зсуву. Аналогічно цьому залишкові деформації дискретних матеріалів виникають у результаті взаємного проковзування не зв'язаних між собою макрочастинок. Опір таким деформаціям чинять тільки сили внутрішнього сухого тертя. Вони асоціюються з граничними дотичними напруженнями, які згідно закону Амонтона – Кулона залежать від нормальних стискуєчих напружень.

Отже, природа пластичних деформацій металів і деформацій проковзування дискретного середовища аналогічна. Це ще раз свідчить про принципову можливість використання апарату теорії пластичності для описання напружено-деформованого стану дискретного середовища.

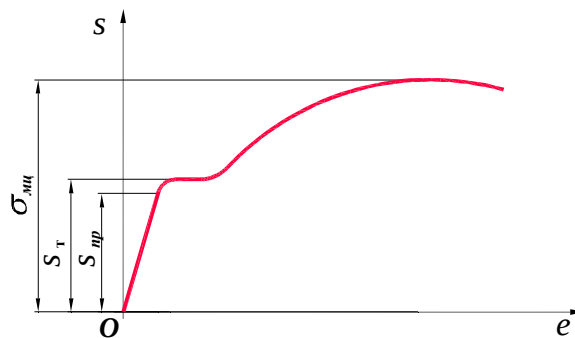


Рис. 1. Діаграма деформування маловуглецевої сталі

3. Для формування рівнянь третьої групи – фізичних рівнянь, в теорії пластичності передбачається встановлення законів пластичного деформування конкретних матеріалів за результатами спеціальних випробувань їх зразків. Враховуючи надзвичайну складність випробувань зразків в умовах довільного складного напруженого стану, закони пластичного деформування найчастіше досліджуються за результатами випробувань зразків матеріалу в умовах простого лінійного стану (на осьовий розтяг або чистий зсув), а результати згідно гіпотези Людвіга (про існування єдиної кривої деформування для усіх видів напруженого стану) переносяться на будь-який складний напружений стан. Такий підхід можна проілюструвати на прикладі класичного матеріалу – маловуглецевої сталі. Діаграма деформування зразка сталі у випадку його осьового розтягу (рис. 1) має складну форму і характеризується трьома параметрами: границею пружності $S_{пр}$; границею текучості $S_{т}$ і границею міцності $S_{мц}$.

Особливості деформування в умовах лінійного стану переносяться на довільний складний напружений стан. У цьому випадку замість кривої деформування $s = f(e)$ розглядається умовна гіперповерхня деформування в багатовимірному просторі компонентів тензора напружень $\{s_{ij}\}$, головних напружень $\{s_i\}$ або базових інваріантів $\{J_i^s\}$ і відповідних їм деформацій.

На рисунку 2 зображені три гіперповерхні Σ_1 , Σ_2 , Σ_3 в умовному просторі головних напружень – деформацій. Поверхня Σ_1 обмежує область пружних деформацій, поверхня Σ_2 відповідає початку пластичного деформування, а перехід матеріалу у граничний стан описується поверхнею Σ_3 . Координати точок перетину поверхонь з головними осями відповідають границям пружності $S_{пр}$, текучості $S_{т}$ і міцності $S_{мц}$.

При навантаженні зразка за довільною траєкторією OA поверхня навантаження поступово буде

співпадати з поверхнями, які обмежують зони пружного, пружно-пластичного і граничного деформування. Характер цих поверхонь в складному напружено-деформованому стані, навіть для металів, вивчений недостатньо. Тому в теорії пластичності переважно розглядаються відносно прості плоскі та вісесиметричні задачі, для яких закони пластичності можуть бути встановлені за результатами експериментів саме в цих видах напруженого стану.

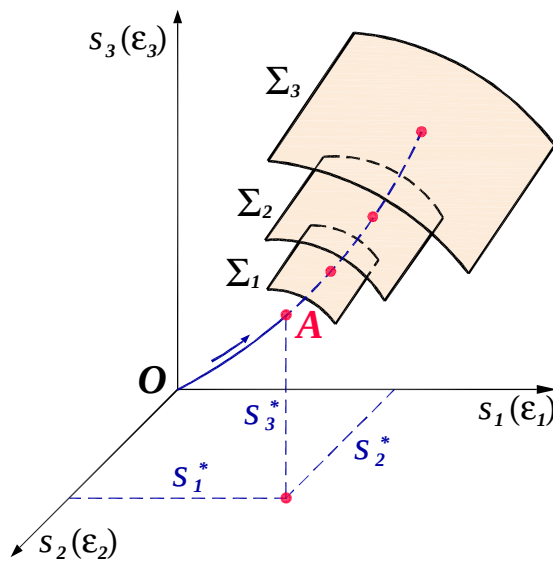


Рис. 2. Поверхні деформування твердих тіл

Для практичного використання в інженерних розрахунках експериментально встановлені закони деформування записують у вигляді залежностей між інваріантами тензорів $(J_i^s - J_i^e)$.

Описаний підхід до встановлення законів пластичного деформування металів не може бути безпосередньо застосованим до дискретних матеріалів у зв'язку з принциповими відмінностями структури цих матеріалів і твердих тіл.

Перш за все, зразки дискретного матеріалу неможливо випробувати в умовах простого лінійного напруженого стану на осьовий розтяг або стиск, які в теорії пластичності вважаються еталонними довільному складному напруженому стану. Для дискретних матеріалів за еталонні можуть бути прийняті стабілометричні випробування циліндричних зразків при всебічному гідростатичному обтискуванні, або випробування призматичних зразків в умовах плоскої деформації в області стискуючих напружень [2].

Аналогом пластичних деформацій металів є залишкові деформації, викликані взаємним проковзуванням частинок дискретного матеріалу. Спеціальні експериментальні дослідження А. Дрешера [3] на штучно створених зразках гранульованого матеріалу, а також випробування зразків сухого кварцового піску на перекошування в умовах плоскої деформації [4], показують, що деформації проковзування в дискретних матеріалах відбуваються з самого початку навантаження. Тому поняття границі пружності та границі текучості для цих матеріалів не мають змісту, а поверхні Σ_1 і Σ_2 "стягуються" в точку. Отже, завданням експериментальних досліджень є встановлення характеру граничної поверхні Σ_3 дискретних матеріалів і законів їх деформування у до граничній та граничній стадіях у просторі інваріантів напружень і деформацій.

Характер поверхні Σ_3 для пластичних твердих матеріалів визначається в просторі напружень умовами Сен-Венана або Мізеса. Обидві умови зв'язують настання граничного стану з досягненням величиною максимальних або октаедричних дотичних напружень границі текучості, яка визначається за результатами випробування зразків на осьовий розтяг або чистий зсув.

Граничний стан дискретного матеріалу пов'язується не з дотичними напруженнями t_{cp} , а з граничним відношенням дотичних t і нормальних s напружень (прояв внутрішнього тертя) і описується умовами Мора – Кулона (аналог умови Сен-Венана) або А. Боткіна (аналог умови Мізеса) [5]. Для доведення можливості використання зазначених умов як критеріїв переходу дискретного матеріалу у граничний стан необхідно провести випробування зразків матеріалу при різних видах напружено-деформованого стану.

Аналіз результатів таких досліджень щодо незв'язних ґрунтів [6] показав, що при зміні виду напружено-деформованого стану дискретного матеріалу найбільш стабільною залишається гранична умова Мора – Кулона. Саме ця умова використовується в більшості інженерних розрахунків щодо визначення граничних навантажень для області сипкого середовища.

Апарат теорії пластичності використовується в інженерній механіці для розв'язання задач двох класів [7]: визначення величин граничного навантаження і оцінка фактичного (робочого) напружено-

деформованого стану розрахункової області на усіх етапах її деформування.

Задачі знаходження граничних навантажень відносяться до класу статично визначуваних, оскільки для формулювання замкненої системи рівнянь в них не залучаються геометричні рівняння нерозривності деформацій, а використовуються тільки статичні рівняння рівноваги та умова настання граничного стану, сформульовані в напруженнях.

Можливість розв'язання задач по визначенню граничних навантажень щодо дискретного середовища з використанням граничної умови Мора – Кулона чудово продемонстрована В.В. Соколовським [8] на прикладі сипкого середовища.

Більш складними є задачі оцінки фактичних напруженого та деформованого станів в до граничній і граничній областях. Постановка таких задач вимагає проведення спеціальних експериментальних досліджень для встановлення законів деформування матеріалу на усіх етапах навантаження у формі залежностей між тензорами напружень і тензором деформацій або швидкостей деформацій. Ці залежності формують третю групу "фізичних" рівнянь, які разом зі статичними і геометричними співвідношеннями утворюють замкнену систему розв'язуваних рівнянь.

В усіх теоріях механіки твердого деформівного тіла тензор напружень $\{s\}$ і аналогічний йому тензор малих деформацій $\{e\}$ представляють як суму двох частин: кульових тензорів $\{s_0\}$, $\{e_0\}$ і девіаторів $\{D\}_s$, $\{D\}_e$. При цьому вважається, що об'ємні деформації $\{e_0\}$ пов'язані тільки з кульовим тензором напружень $\{s_0\}$, а деформації формозміни $\{D\}_e$ – тільки з девіатором $\{D\}_s$

$$\begin{aligned} \{e_0\} &\leftrightarrow \{s_0\}; \\ \{D\}_s &\leftrightarrow \{D\}_e. \end{aligned}$$

Ці зв'язки оформлюються у вигляді експериментально встановлених залежностей між інваріантами тензорів напружень і деформацій:

$$J_1^e = f_1(J_1^s) \text{ – закон об'ємного деформування;} \quad (1)$$

$$J_2^e = f_2(J_2^s) \text{ – закон формозміни.} \quad (2)$$

Тобто, закони об'ємного деформування і закон формозміни вважаються незалежними.

Зв'язок між третіми інваріантами $(J_3^e - J_3^s)$, що відображає вплив виду напружено-деформованого стану на закономірності пластичного деформування твердого тіла, ще недостатньо вивчений.

Дослідження, проведені багатьма науковцями з дискретними матеріалами, встановили три принципи відмінності деформування цих матеріалів від пластичного деформування твердих тіл [9].

1. Деформації формозміни $\{D\}_e$ залежать не тільки від девіатора $\{D\}_s$, але й від кульового тензора $\{s_0\}$. Ця залежність відображає першу принципову відмінність дискретних матеріалів – вплив внутрішнього кулонівського тертя на процес їх деформування як у граничному, так і в до граничному станах.

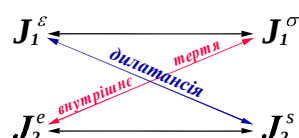
2. Об'ємні деформації дискретних матеріалів відбуваються навіть при сталих нормальних напруженнях за рахунок зсувів. Залежність об'ємних деформацій від зсувів або від дотичних напружень, що їх спричиняють, вперше описана О. Рейнольдсом [10] і названа дилатансією. Прояв дилатансії виражається у залежності об'ємних деформацій $\{e_0\}$ не тільки від кульового тензора $\{s_0\}$, але й від девіатора $\{D\}_s$.

3. На характер деформування дискретного матеріалу суттєво впливає вид напружено-деформованого стану, в якому він працює. Враховуючи надзвичайну складність вивчення цієї проблеми, можна запропонувати проводити експерименти для встановлення законів деформування дискретних матеріалів в тих самих видах напружено-деформованого стану, в яких матеріал працює в реальних умовах, наприклад, в умовах плоскої деформації. Такий підхід дозволяє не враховувати залежність між третіми інваріантами, $J_3^e = f_3(J_3^s)$ і формулювати закони деформування дискретних матеріалів як залежності тільки між першими двома інваріантами. При цьому закони деформування дискретних матеріалів відображають вплив сухого тертя та дилатансії і описуються не кривими (1), (2), а поверхнями деформування

$$J_1^e = y_1(J_1^s, J_2^s) \text{ – закон об'ємного деформування;} \quad (3)$$

$$J_2^e = y_2(J_2^s, J_1^s) \text{ – закон формозміни.} \quad (4)$$

Особливості представлення законів деформування дискретних матеріалів можна показати схематично у формі зв'язків між першими та другими інваріантами тензорів.



Інваріантні співвідношення (1), (2), що описують закони пластичного деформування металів, використовують для формулювання фізичних рівнянь теорії пластичності деформаційного типу. Ці рівняння записують у формі залежностей між компонентами напружень і досягнутих деформацій аналогічно прийнятим в нелінійній теорії пружності.

В роботах [9], [11] показана можливість використання більш складних співвідношень (3), (4), які відображають вплив внутрішнього тертя і прояв дилатансії, для формулювання фізичних рівнянь плоскої задачі механіки дискретного середовища. Це дозволяє використовувати достатньо апробований апарат теорії пластичності деформаційного типу для оцінки напружено-деформованого стану дискретного середовища у до граничній стадії його деформування і розв'язувати важливі для інженерної практики задачі.

Після досягнення граничного стану середовище продовжує деформуватись вже за іншими законами – законами пластичного плину. Закони деформування в заграничній області описуються особливими співвідношеннями теорії пластичного плину [12], які пов'язують напруження $\{s\}$ не з досягнутими деформаціями $\{e\}$, а з швидкостями їх приростів $\{de\}$.

Для цього вводиться потенціальна функція $\Phi(\{s_{ij}\})$, через яку визначають швидкості приросту деформацій

$$\{de_{ij}\} = dl \frac{\partial \Phi \{s\}}{\partial \{s_{ij}\}}. \quad (5)$$

Вибір характеру потенціальної функції для конкретного класу матеріалів є принципово важливою проблемою, вирішення якої вимагає проведення спеціальних експериментальних та теоретичних досліджень.

Якщо за потенціальну функцію прийняти умову граничного стану, одержані з (5) співвідношення будуть описувати асоційований закон пластичного плину, усі інші – неасоційовані з граничною умовою закони пластичного плину.

В класичній теорії пластичності використовуються потенціальні функції, що асоціюються з характерними для металів граничними умовами Сен-Венана чи Мізеса.

Логічно припустити, що для описання деформацій плину у дискретному середовищі, можуть бути використані характерні для цього середовища граничні умови Мора – Кулона чи Боткіна.

Можливість використання граничної умови Мора – Кулона як потенціальної функції для плоскої деформації сипкого середовища вперше продемонстровано Д. Друкером та У. Прагером [13]. Одержані ними співвідношення “напруження – швидкості деформацій” добре описують вплив на граничне та заграничне деформування внутрішнього кулонівського тертя (перша принципова особливість дискретних матеріалів). Щодо достовірності описання цієї моделлю прояву дилатансії (друга особливість дискретних матеріалів), у багатьох науковців виникли сумніви [14].

Перш за все, співвідношення Друкера – Прагера передбачають дилатансію тільки одного знаку (збільшення об'єму). В експериментах же з пухкими пісками зафіксовано також і їх ущільнення.

По-друге, теоретичні співвідношення передбачають, що швидкість дилатансії $l = \frac{de_0}{dt} = \sin j$, яка

для сухих пісків середньої щільності становить приблизно $l \approx \sin 30^\circ = 0,5$.

За результатами спеціально проведених досліджень А.С. Строганов (1956) встановив інтервал зміни швидкості дилатансії від $l = 0,239$ для щільних пісків до $l = 0,061$ для пухких. В дослідях Р. Roscoe (1970) інтервал швидкості дилатансії становив від $l = 0,59$ до $l = 0,14$, в дослідях С. Фрідмана інтервал зміни l – від $l = 0,35$ до $l = 0,1$.

Вказані розбіжності свідчать про невиконання фундаментального положення механіки деформівного тіла щодо аксіальності тензорів напружень та деформацій. Їх намагались виправити шляхом розробки спеціальних неасоційованих моделей пластичного плину, основаних на довільному виборі потенціальної функції. За результатами аналізу моделей цього класу [14], [15] можна зробити висновок, що вони не дозволяють адекватно описати специфічні особливості деформування дискретного середовища. У зв'язку з цим пропонувались інші шляхи вирішення проблеми не коаксіальності характеристик полів граничних напружень і швидкостей деформацій.

На наш погляд, однією з можливих причин невиконання умови коаксіальності полів характеристик може бути невідповідність структур тензорів напружень і швидкостей деформацій.

В класичній теорії пластичності перехід матеріалу у граничний стан за умовою Сен-Венана пов'язується з досягненням величини максимального дотичного напруження $t_{\max}$ границі текучості.

Максимальні дотичні напруження виникають по площинках, нахилених до головних під кутом $\pm P/4$. Ці площинки утворюють взаємно ортогональні характеристичні поверхні, на яких виконується гранична умова Сен-Венана. Оскільки максимальні деформації зсуву виникають по цих самих поверхнях, характеристики поля напружень співпадають з характеристиками поля швидкостей деформацій, які асоціюються з поверхнями ковзання. Отже, в класичній теорії пластичності характеристики полів швидкостей деформацій

збігаються з ортогональною сіткою характеристик граничного поля напружень за умовою Сен-Венана, що забезпечує виконання фундаментальної умови їх коаксіальності.

В моделі Друкера – Прагера гранична умова Сен-Венана замінена на умову Мора – Кулона, яка пов'язує настання граничного стану сипкого середовища не з величиною максимального дотичного напруження $t_{\max}$, а з максимальним відношенням напружень $t/s = \operatorname{tg} j$, або з максимальним кутом h відхилення повного напруження від нормалі, який у граничному стані досягає величини кута внутрішнього тертя $h_{\max} = j$. Площинки з максимальним відношенням напружень, названі спряженими [16], нахилені до головних під кутами $P/4 \pm j$ і утворюють вже неортогональну сітку характеристичних поверхонь граничного поля напружень. Площинки ж максимальних зсувів згідно класичної теорії деформаційного стану нахилені до головних під кутами $\pm P/4$ і представляються сіткою ортогональних характеристичних поверхонь поля швидкостей деформацій. Для виконання фундаментальної умови коаксіальності тензорів напружень і швидкостей деформації характеристичні поверхні цих полів повинні збігатися, що неможливо досягнути просто їх жорстким поворотом.

Умову коаксіальності характеристик полів напружень і швидкостей деформацій можна задовольнити, якщо відмовитись від “класичного” визначення деформацій зсуву g_{xy} , як зміни кута між двома ортогональними напрямками x, y , замінивши його поняттям зсуву n_{ri} між довільним напрямком r і головною віссю i (див. [17]).

Таке припущення не суперечить фундаментальним положенням механіки твердого деформівного тіла і за рахунок повної аналогії структур тензорів напружень і деформацій забезпечує виконання умови коаксіальності характеристик полів напружень і швидкостей деформацій у випадку їх неортогональності.

Звичайно, зроблене припущення потребує детального теоретичного аналізу та експериментального підтвердження.

Висновки

Приведені в статті результати аналізу дозволяють зробити висновок про можливість використання апарату теорії пластичності для описання напружено-деформованого стану дискретного середовища. Найбільш перспективним для цього представляється використання реологічних моделей пластичного плину, які враховують специфічні особливості закономірностей деформування дискретних матеріалів: вплив внутрішнього тертя та прояв дилатансії.

Література

1. Ковтун В.В. Вибір класу механічних моделей для описання деформування дискретного середовища / В.В. Ковтун, О.А. Дорофєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – №3. – С. 142-146.
2. Ковтун В.В. Експериментальне обґрунтування вихідних положень механіки дискретного середовища і визначення розрахункових параметрів моделей / В.В. Ковтун, О.А. Дорофєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – №3. – С. 20-27.
3. Дрешер А. Проверка механической модели течения гранулированного материала методами фотоупругости / А. Дрешер, Ж. до Йоселен де Йонг // Определяющие законы механики грунтов. – М.: Мир, 1975. – С. 144-165.
4. Ковтун В.В. Исследование характера нелинейных физических зависимостей несвязных грунтов / В.В. Ковтун // Сб. Основания и фундаменты. Вып. 8. – Киев: Будівельник, 1975. – С. 64–70.
5. Боткин А.И. О прочности сыпучих и хрупких материалов / А.И. Боткин // Известия ВНИИГ, т. 26. – Л.: Изд. АН СССР, 1942. – С. 205–236.
6. Ковтун В.В. Исследование прочности сыпучих материалов в условиях плоской деформации / В.В. Ковтун, Е.В. Багрий, В.Т. Бугаев // Будівельні конструкції. – 2004. – Вып. 61. – т. 1. – С. 109–116.
7. Качанов Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов. – М.: Наука, 1969. – 420 с.
8. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды / Соколовский В.В. – М.: Наука, 1960. – 272 с.
9. Ковтун В.В. Визначальні співвідношення механіки дискретного середовища / В.В. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – №5. – С. 69–76.
10. Reynolds O. Experiments showing dilatancy, a property of granular material. Proc. Roy inst. 2, 1886, P. 354-363.
11. Багрий О.В. Плоска задача механіки дискретного середовища / О.В. Багрий, В.В. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – №5. – С. 17–21.
12. Седов Л.И. Механика сплошной среды, т. 2 / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1970. – 578 с.
13. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis or limit design, – Quarterly of Applied Mathematics, 10, №2, P. 157-165 (1952).
14. Николаевский В.Н. Механические свойства грунтов и теория пластичности / В.Н. Николаевский // Механика твердых деформируемых тел (Итоги науки и техники). – 1972. – Т. 6. – С. 3–87.

15. Федоровский В.Г. Современные методы описания механических свойств грунтов / В.Г. Федоровский // Обзор ВНИИС, – М.: 1985. – 73 с.
16. Ковтун В.В. Напряжения по потенциальным площадкам ковзання у сипкому середовищі / В.В. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – №1. – С. 7–12.
17. Ковтун В.В. Деформації вздовж потенціальних ліній ковзання у сипкому середовищі / В.В. Ковтун, О.А. Дорофеев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – №5. – С. 142–150.

References

1. Kovtun V.V. Vybir klasu mekhanichnykh modeley dlya opysannya deformuvannya dyskretnoho seredovyshcha / V.V. Kovtun, O.A. Dorofeyev // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. – Tekhnichni nauky. – 2014. – #3. – S. 142-146.
2. Kovtun V.V. Eksperymental'ne obgruntuvannya vykhidnykh polozhen' mekhaniky dyskretnoho seredovyshcha i vyznachennya rozrakhunkovykh parametrov modeley / V.V. Kovtun, O.A. Dorofeyev // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. – Tekhnichni nauky. – 2011. – #3. – S. 20-27.
3. Dresher A. Proverka mekhanicheskoy modeli techeniya hranulirovannogo materiala metodamy fotouprugosti / A. Dresher, Zh. do Yoselen de Yonh. / Opredelyayushchye zakony mekhaniky hruntov. – М.: Myr, 1975. – S. 144-165.
4. Kovtun V.V. Yssledovanye kharaktera nelyneynykh fizycheskykh zavyssymostey nesvyaznykh hruntov. – Sb. Osnovaniya y fundamente: Выр. 8, Киев: Budivel'nyk, 1975. – S.64-70.
5. Botkun A.Y. O prochnosti syrchykh y khrupkykh materialov // Yzvestiya VNIYH, t. 26. – L.: 1940. – S. 205-236. Yzd. AN SSSR, 1942. – 243 s.
6. Kovtun V.V. Yssledovanye prochnosti syrchykh materialov v usloviyakh ploskoy deformatsyy / V.V. Kovtun, E.V. Bahryy, V.T. Buhaev // Budivel'ni konstruktsiyi. – 2004. – Выр. 61. – t. 1. – S. 109-116.
7. Kachanov L.M. Osnovy teoryi plastichnosti. – М.: Nauka, 1969. – 420 s.
8. Sokolovskyy V.V. Statyka syruchey sredy / Sokolovskyy V.V. – М.: Nauka, 1960. – 272 s.
9. Kovtun V.V. Vyznachal'ni spivvidnoshennya mekhaniky dyskretnoho seredovyshcha / V.V. Kovtun // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2008. – #5. – S. 69-76.
10. Reynolds O. Experiments showing dilatancy, a property of granular material. Proc. Roy inst. 2, 1886, P. 354-363.
11. Bahriy O.V. Ploska zadacha mekhaniky dyskretnoho seredovyshcha / O.V. Bahriy, V.V. Kovtun // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2012. – #5. – S. 17-21.
12. Sedov L.Y. Mekhanyka sploshnoy sredy, t. 2. – М.: Nauka, 1970. – 578 s.
13. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis or limit design, – Quarterly of Applied Mathematics, 10, №2, P. 157-165 (1952).
14. Nikolaevskyy V.N. Mekhanicheskiye svoystva hruntov y teorya plastichnosti / V.N. Nikolaevskyy // Mekhanyka tverdykh deformyruemykh tel (Ytohy nauky y tekhniky). – 1972. – t. 6. – S. 3-87.
15. Fedorovskyy V.H. Sovremennyye metody opysannya mekhanicheskyykh svoystv hruntov // Obzor VNIYS, – М.: 1985. – 73 s.
16. Kovtun V.V. Napruzhennya po potentsial'nykh ploshchynkakh kovzannya u sypkomu seredovyshchi / V.V. Kovtun // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2010. – #1. – S. 7-12.
17. Kovtun V.V. Deformatsiyi vzdovzh potentsial'nykh liniy kovzannya u sypkomu seredovyshchi / V.V. Kovtun, O.A. Dorofeyev // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2010. – #5. – S. 142-150.

Рецензія/Peer review : 2.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР РІЗАЛЬНОГО ВУЗЛА ВОВЧКІВ

Досліджено вплив конструктивного виконання різального вузла вовчків на гідравлічний опір рухові м'ясної сировини крізь нього. Отримані результати дозволяють прогнозувати необхідну потужність фаршевого насоса, який подає сировину до РВ вовчка. При виборі типу фаршевого насоса вовчка необхідно віддавати перевагу тому, в якому буде забезпечено найменшу відстань від нагнітального елементу до різального вузла. Це дозволить зменшити енерговитрати та покращити якість продукту.

Ключові слова: вовчок, решітки, зусилля, м'ясна сировина.

OLEXANDR IVANOVYCH NEKOZ

National university of food technologies

VASILIIY IVANOVYCH OSIPENKO, NADYA VICTORIVNA FILIMONOVA,

OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO

Cherkassy state technological university

HYDRAULIC RESISTANCE OF THE CUTTING NODE OF MEAT GRINDERS

Abstract - Influence of constructive execution of the cutting node of meat grinders on its hydraulic resistance to movement of meat raw materials is probed. It is set that dependence of pressure on thickness of a perforated plate has exponential character. Existence of distances between separate packets of perforated plates leads to increase of the general pressure. Long distances are responded by more essential pressure increment. In the presence of distances between perforated plates values of the relative deformation of raw materials in case of which breakdown process begins increase. In case of increase in thickness of a layer of raw materials pressure significantly increases and along with it the relative deformation of raw materials in case of which breakdown process begins increases. Fall forward of breakdown has essential impact on value of pressure which value significantly increases. The received results allow to predict the necessary power of the farshevy pump which gives raw materials to the cutting node of meat grinders. In case of a type selection of the farshevy pump of the meat grinder it is necessary to prefer as in what the smallest distance from a forcing element to the cutting node will be provided. It will allow to reduce energy consumption and to improve quality of a product.

Keywords: meat grinder, grids, efforts, meat raw materials..

Постановка проблеми

Виготовлення ковбасних виробів передбачає подрібнення м'ясної сировини, попередній (або кінцевий відповідно до прийнятої технології) етап якого здійснюється за допомогою вовчків. Цей вид технологічного обладнання набув широкого застосування і відрізняється простотою конструкції та надійністю роботи. Процеси, що супроводжують роботу вовчків, досліджувались багатьма вченими на протязі тривалого часу. Однак, нещодавно були виявлені нові відомості про роботу подавального та різального механізмів вовчків. Встановлено [1], що робочий шнек вовчка в кожний момент часу подає сировину не по всій площі решітки різального вузла, а лише в межах певного сектору, який відрховується від кінця витка шнеку. Це призводить до того, що фактична продуктивність вовчка щонайменше удвічі менша за максимальну теоретично можливу. Виявлений ефект робить актуальними подальші пошуки шляхів підвищення питомої продуктивності вовчків.

Зазначене підвищення продуктивності можливе лише у разі такої зміни схеми подачі сировини до різального вузла, при якій сировина буде подаватись одночасно по всій робочій площі решітки. На даний час відомо низку конструкцій вовчків [2, 3 та ін.], в яких застосовується інший, відмінний від одношнекового, тип фаршевого насоса. Це дозволяє, як підвищити тиск нагнітання сировини, так і забезпечити більш повне заповнення решіток різального вузла (РВ) в кожний момент часу. Але для обґрунтування найбільш доцільного способу подачі сировини до РВ та для оптимізації його режимів необхідне якомога більш повне уявлення про реологічні властивості м'ясної сировини та про величини гідравлічного опору РВ вовчків. Незважаючи на численні дослідження гідравлічного опору (ГО) РВ вовчків, на даний час відсутні вичерпні відомості з даного проблемного питання.

Аналіз останніх джерел

Величина ГО РВ вовчків досліджена А. І. Пелеєвим [4]. Визначався середній та максимальний тиск витікання м'яса при різних швидкостях витікання (0,07÷0,4м/с), сировина – шматкове м'ясо після обвалювання, жилювання та сортування. При однократному продавлюванні тиск витікання яловичого м'яса дорівнює:

$$P = 1,256 \cdot 10^5 \cdot d^{-0,84} \cdot v^{0,3} \text{ Н/м}^2, \quad (1)$$

де d – діаметр отворів решітки, мм; v – швидкість витікання м'яса, м/с.

В роботі [5] наведено аналогічні результати досліджень. Автором [6] при дослідженні ГО решіток продавлюванню яловичини (м'ясо довгого спинного м'ясу) отримано наступну залежність:

$$P = \frac{4t_{\text{сп}}}{d} j, \quad (2)$$

де $t_{\text{сп}}$ - питоме напруження зрізу; ϕ – коефіцієнт перфорації решітки.

Встановлено, що значення максимального ГО залежно від діаметру отворів та швидкості витікання сировини, лежить в межах $0,4 \div 2,8$ МПа.

В роботі [7] наведено наступні для визначення ГО решіток РВ вовчків (значення максимального ГО лежить в межах $0,18 \div 1,41$ МПа). Схожі результати наведені і в роботі [8]. Згідно даних роботи [9], при продавлюванні свинини, залежно від її температури та діаметру отворів решітки, ГО сягає $0,15 \div 0,45$ МПа. При продавлюванні індичини в аналогічних умовах ГО сягає $0,3 \div 0,6$ МПа.

Недоліком результатів усіх зазначених досліджень є те відсутність роздільного врахування впливу таких складових ГО, як лобовий опір перемичок поміж отворами решітки та опір при руху сировини всередині отворів. Це обумовлено тим, що згідно методик описаних вище досліджень, зміна ГО решіток проводилась шляхом заміни решіток на ті, які мали отвори іншого діаметру. Але при цьому змінюються одночасно обидва вказані чинники, що не дозволяє належним чином інтерпретувати отримані результати досліджень.

В роботі [10] зміна ГО решіток проводилась шляхом зміни товщини пакету решіток при незмінному діаметру отворів, що дозволяє отримати більш точну залежність ГО отворів від їх довжини. Але в даній роботі проводились дослідження решіток з отворами лише одного типорозміру, причому варіювання швидкістю продавлювання сировини та її видами відсутнє, також відсутнє визначення відносної деформації сировини.

Всім же відомим дослідженням властивий той недолік, що не враховувалась відстань поміж окремими решітками на товщину ножа вовчка. Тоді, як відомо, що РВ вовчків може містити 2 ножі, які розташовані поміж трьома решітками, ножі мають товщину, яка більша за товщину решіток, що зумовлює значну товщину шару м'ясної сировини поміж окремими решітками. Це дозволяє очікувати суттєвий вплив даних проміжків між решітками на величини ГО РВ та відносної деформації сировини при її продавлюванні крізь такий РВ. Без врахування таких конструктивних особливостей РВ складно прогнозувати вплив конструктивного виконання РВ на величину енерговитрат при подачі сировини крізь РВ та на можливе погіршення якості отриманого фаршу (зменшення вологовмісту та погіршення структури сировини).

Метою роботи є: дослідження впливу конструктивного виконання різального вузла вовчків на гідравлічний опір рухові м'ясної сировини крізь нього.

Виклад основного матеріалу

Методика експериментальних досліджень ГО РВ вовчків полягала у наступному. Використовувався лабораторний стенд, який складався з аналізатора текстури марки „TA.HDplus STABLE MICRO SYSTEMS” та спеціального пристрою, встановленого у робочих захватах аналізатора. Основною складовою частиною пристрою є робоча камера (рис. 1), яка складається з циліндра 1, поршня 2 і стакана 3, всередині якого встановлюється набір решіток 4, які розділені проміжними кільцями 5.

Види застосовуваних решіток показані на рисунку 2. Конструктивні та геометричні параметри робочої камери, різні поєднання яких використовувались при дослідженні ГО, наведені в таблиці 1.

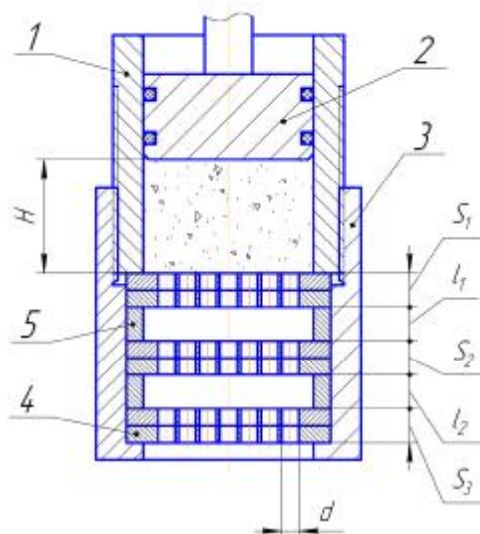


Рис. 1 – Схема робочої камери пристрою для вимірювання ГО РВ вовчків:
1 – циліндр; 2 – поршень; 3 – стакан; 4 – решітка; 5 – проміжне кільце.

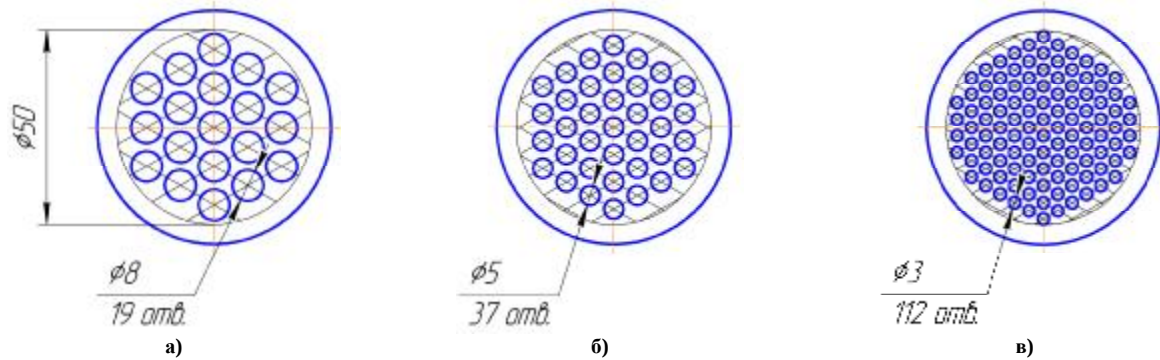


Рис. 2. Види решіток з різним коефіцієнтом перфорації ϕ : а) – $\phi=0,49$; б) – $\phi=0,37$; в) – $\phi=0,40$.

Вимірювання величини ГО проводилось наступним чином: попередньо подрібнена ($20 \times 20 \times 20$ мм) м'ясна сировина (яловичина знежирена I-го гатунку або свинина нежирна) завантажувалась у циліндр 1, який потім закривався поршнем 2, при увімкненні приводу аналізатору поршень рухався униз, протискаючи при цьому м'ясний шрот крізь набір решіток; величини зусилля, необхідного для продавлювання сировини крізь отвори, та відповідне переміщення поршня (абсолютна деформація м'ясної сировини) фіксувались системою керування аналізатора та виводились на його дисплей.

Отримані результати представлені у вигляді наступних графічних залежностей (рис. 3 – 15).

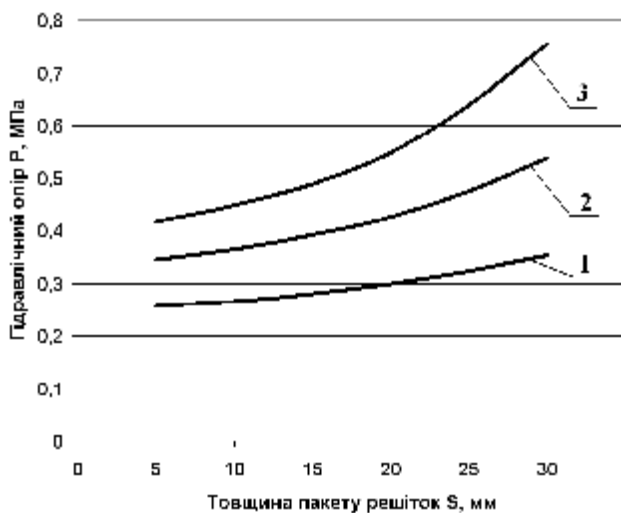


Рис. 3. Залежність гідравлічного опору P від товщини пакету решіток S (для яловичини) при діаметрах отворів: 1 – $d=8$ мм; 2 – $d=5$ мм; 3 – $d=3$ мм

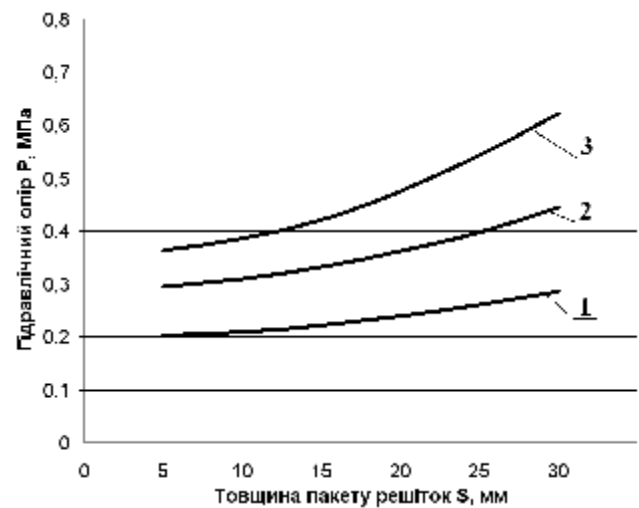


Рис. 4. Залежність гідравлічного опору P від товщини пакету решіток S (для свинини) при діаметрах отворів: 1 – $d=8$ мм; 2 – $d=5$ мм; 3 – $d=3$ мм

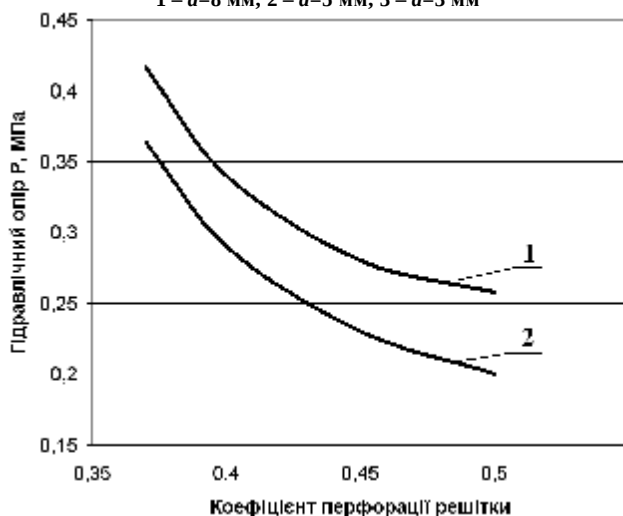


Рис. 5. Залежність гідравлічного опору P від коефіцієнту перфорації решіток ϕ при діаметрі отворів решіток $d=3$ мм: 1 – для яловичини; 2 – для свинини

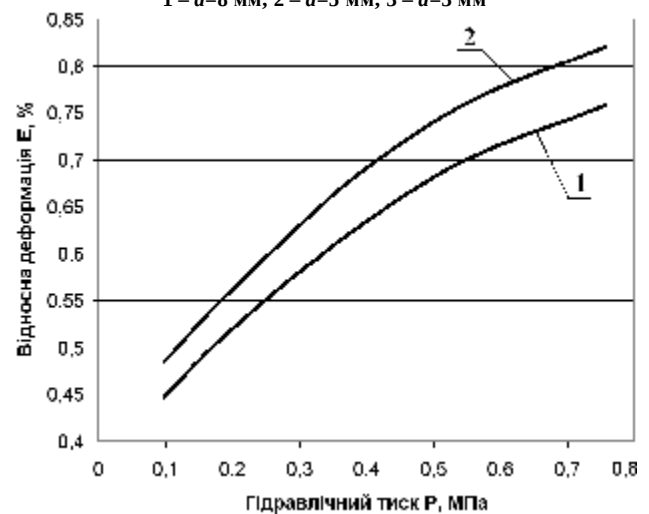


Рис. 6. Залежність відносної деформації ϵ від гідравлічного опору P : 1 – для яловичини; 2 – для свинини

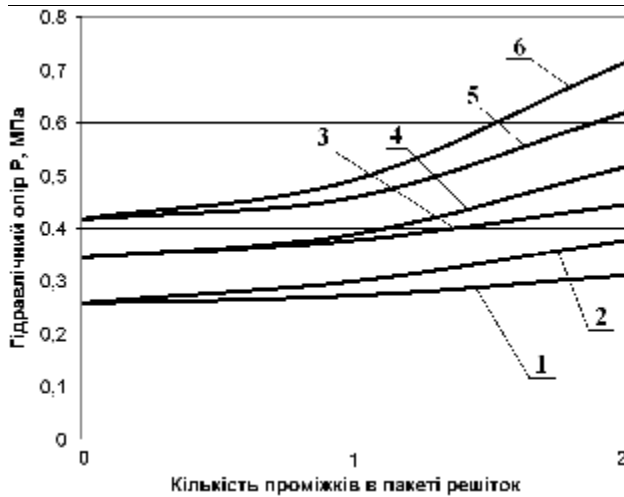


Рис. 7. Залежність гідравлічного опору P (для яловичини) від кількості проміжків між решітками при $S_1=S_2=S_3=5$ мм: 1 – $l_1=5$ мм, $d=8$ мм; 2 – $l_2=10$ мм, $d=8$ мм; 3 – $l_1=5$ мм, $d=5$ мм; 4 – $l_2=10$ мм, $d=5$ мм; 5 – $l_1=5$ мм, $d=3$ мм; 6 – $l_2=10$ мм, $d=3$ мм;

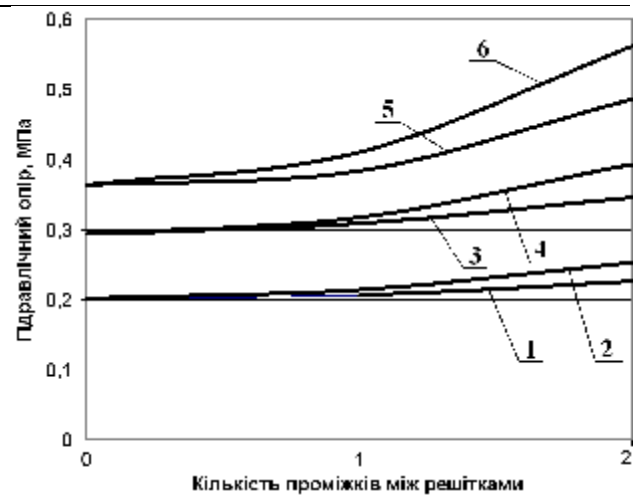


Рис. 8. Залежність гідравлічного опору P (для свинини) від кількості проміжків між решітками при $S_1=S_2=S_3=5$ мм: 1 – $l_1=5$ мм, $d=8$ мм; 2 – $l_2=10$ мм, $d=8$ мм; 3 – $l_1=5$ мм, $d=5$ мм; 4 – $l_2=10$ мм, $d=5$ мм; 5 – $l_1=5$ мм, $d=3$ мм; 6 – $l_2=10$ мм, $d=3$ мм;

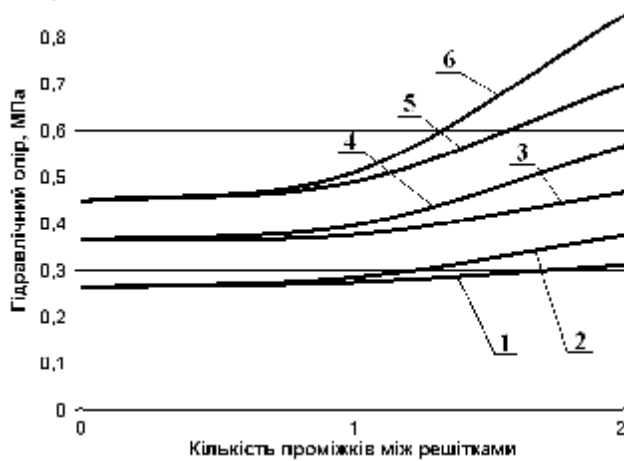


Рис. 9. Залежність гідравлічного опору P (для яловичини) від кількості проміжків між решітками при $S_1=S_2=S_3=10$ мм: 1 – $l_1=5$ мм, $d=8$ мм; 2 – $l_2=10$ мм, $d=8$ мм; 3 – $l_1=5$ мм, $d=5$ мм; 4 – $l_2=10$ мм, $d=5$ мм; 5 – $l_1=5$ мм, $d=3$ мм; 6 – $l_2=10$ мм, $d=3$ мм;

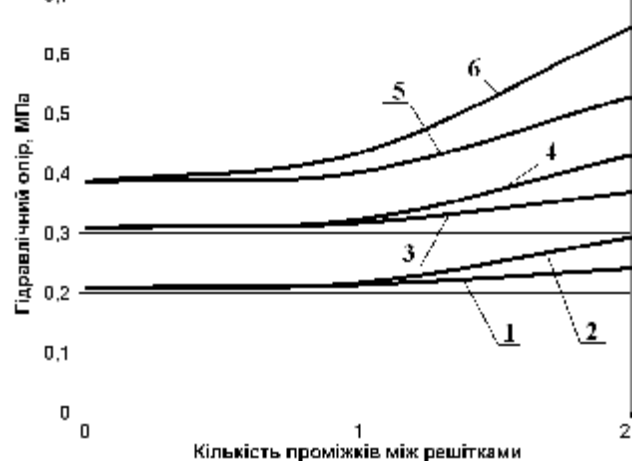


Рис. 10. Залежність гідравлічного опору P (для свинини) від кількості проміжків між решітками при $S_1=S_2=S_3=10$ мм: 1 – $l_1=5$ мм, $d=8$ мм; 2 – $l_2=10$ мм, $d=8$ мм; 3 – $l_1=5$ мм, $d=5$ мм; 4 – $l_2=10$ мм, $d=5$ мм; 5 – $l_1=5$ мм, $d=3$ мм; 6 – $l_2=10$ мм, $d=3$ мм;

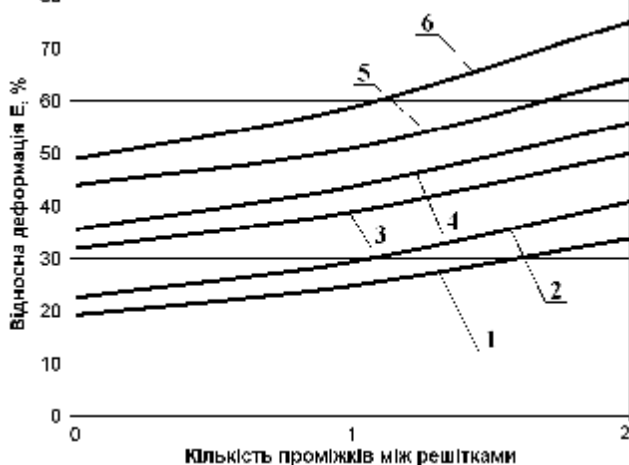


Рис. 11. Залежність відносної деформації ε від кількості проміжків між решітками при $S_1=S_2=S_3=5$ мм та $l_1=l_2=10$ мм: 1 – $d=8$ мм (яловичина); 2 – $d=8$ мм (свинина); 3 – $d=5$ мм (яловичина); 4 – $d=5$ мм (свинина); 5 – $d=3$ мм (яловичина); 6 – $d=3$ мм (свинина).

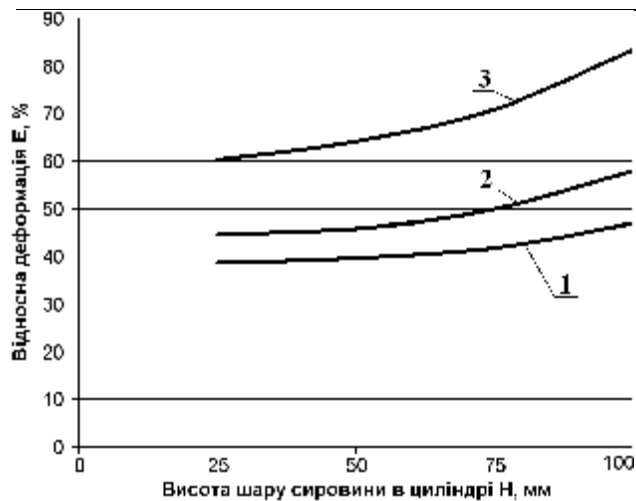


Рис. 12. Залежність відносної деформації ε (для яловичини) від висоти шару сировини в циліндрі H при $S_1 = 30$ мм:
1 – $d=8$ мм; 2 – $d=5$ мм; 3 – $d=3$ мм.

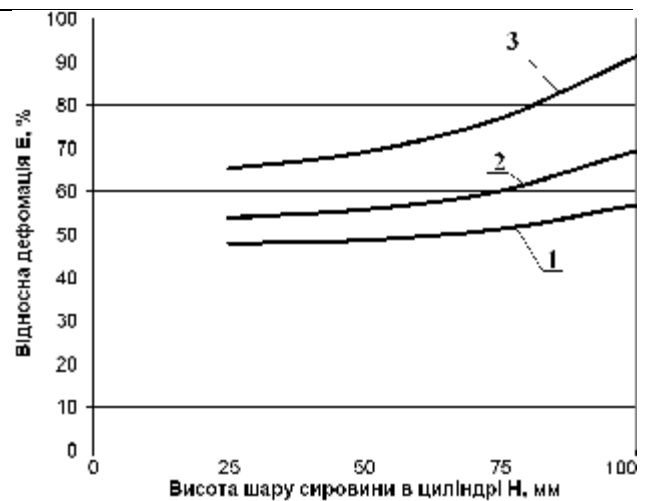


Рис. 13. Залежність відносної деформації ε (для свинини) від висоти шару сировини в циліндрі H при $S_1 = 30$ мм:
1 – $d=8$ мм; 2 – $d=5$ мм; 3 – $d=3$ мм.

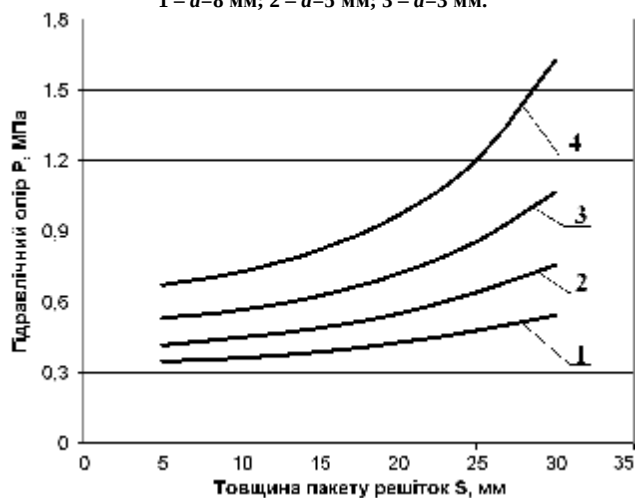


Рис. 14. Залежність гідравлічного опору P (для яловичини) від товщини пакету решіток S при $d=3$ мм та при різних швидкостях продавлювання сировини:
1 – $v=0,01$ м/с; 2 – $v=0,03$ м/с; 3 – $v=0,05$ м/с; 4 – $v=0,7$ м/с.

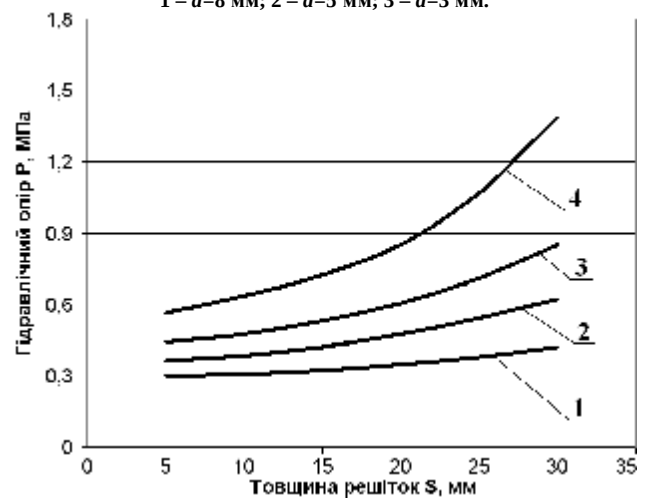


Рис. 15. Залежність гідравлічного опору P (для свинини) від товщини пакету решіток S при $d=3$ мм та при різних швидкостях продавлювання сировини:
1 – $v=0,01$ м/с; 2 – $v=0,03$ м/с; 3 – $v=0,05$ м/с; 4 – $v=0,7$ м/с.

Таблиця 1

Конструктивні та геометричні параметри робочої камери при визначенні ГО РВ вовчків

Висота шару сировини в циліндрі H , мм	Решітки з отворами діаметром d , мм	Геометричні параметри набору решіток				
		S_1 , мм	l_1 , мм	S_2 , мм	l_2 , мм	S_3 , мм
25; 50; 75; 100	8; 5; 3	5; 10; 15; 20; 25; 30	5; 10; 15; 20	5; 10	5; 10	5; 10

Висновки

Досліджено вплив конструктивного виконання різального вузла вовчків на гідравлічний опір рухові м'ясної сировини крізь нього. Встановлено, що залежність ГО від товщини решітки носить експоненціальний характер, який найбільш яскраво виражений для отворів малих діаметрів. Наявність відстаней поміж окремими пакетами решіток призводить до підвищення загального ГО, причому більшим відстаням відповідає більш істотне збільшення ГО. Поряд зі збільшенням ГО при наявності відстаней поміж решітками підвищуються значення відносної деформації сировини, при якій починається процес продавлювання. Залежність деформації від прикладеного тиску вказує на те, що м'ясна сировина в парному стані добре піддається стисканню. При збільшенні товщини шару сировини в циліндрі істотно збільшується ГО пакету решіток та одночасно з цим збільшується відносна деформація сировини, при якій починається процес продавлювання. Підвищення швидкості продавлювання чинить суттєвий вплив на величину ГО, значення якого прогресивно збільшується.

Отримані результати дозволяють прогнозувати необхідну потужність фаршевого насоса, який подає сировину до РВ вовчка та дозволяють пояснити подачу сировини шнеком вовчка в межах певного сектору (див. вище). Можна визначити, що при виборі типу фаршевого насоса вовчка необхідно віддавати перевагу тому, в якому буде забезпечено найменшу відстань від нагнітального елемента до різального вузла. Таке

виконання фаршевого насосу дозволить зменшити енерговитрати на процес продавлювання та покращити якість продукту, не піддаючи сировину надмірному стисканню.

Література

1. Некоз О. І. Дослідження інтенсивності зношування лез ножа вовчка / О. І. Некоз, Н. В. Філімонова, С. О. Філімонов, О. В. Батраченко, А. В. Хом'як // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2013. – №2. – С. 128-135.
2. Пат. 88056 Україна, МПК В02С18/30 Вовчок універсальний / Некоз О. І., Осипенко В. І., Філімонова Н. В., Батраченко О. В., Хом'як А. В.; заявник та власник патенту Батраченко Олександр Вікторович; заявл. 21.10.2013 ; опубл. 25.02.2014, Бюл. 2014, № 4.
3. Промисловий каталог фірми Maschinenfabrik Dornhan GmbH [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2015. – Режим доступу: <http://www.mado.de.htm>.
4. Пелеев А. И. Определение давления истечения мяса через решетки от диаметра решетки, скорости истечения и степени деформации / А. И. Пелеев, С. А. Пелеева // Мясная индустрия СССР. – 1973. – №6. – С. 31-32.
5. Бражников А. М. Истечение измельченного говяжьего сырья через фильтрные решетки / А. М. Бражников, А. В. Горбатов // Мясная индустрия СССР. – 1986. – №3. – С. 27-30.
6. Горяев В. В. Совершенствование конструкций и методики расчета режущего механизма волчков: автореф. дисс. на соиск. научной степени кандидата технических наук / В. В. Горяев. – Москва, 1989. – 16 с.
7. Максимов Д. А. Разработка адаптированного гибкого подающего рабочего органа в волчках: автореф. дисс. на соиск. научной степени кандидата технических наук / Д. А. Максимов. – Москва, 2008. – 21 с.
8. Бубыренко В. К. Исследование волчков с целью повышения их эффективности и долговечности рабочих органов: автореф. дисс. на соиск. научной степени кандидата технических наук / В. К. Бубыренко. – Москва, 1977. – 24 с.
9. W. Schnackel, J. Krickmeier, W. Pongjanyanukul, Dmitrinka Schnackel, I. Micklisch, Oliver Haack, „Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses“, Fleischwirtschaft, №3, 2012 pp. 148-153.
10. Батраченко О. В. Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин: дис.... кандидата техн. наук: 05.18.12 / Батраченко Олександр Вікторович. – Вінниця, 2014. – 284 с.

References

1. Nekoz O. I., Filimonova N.V., Filimonov S.O., Batrachenko O. V., Khomiak A. V. Doslidzhennia intensyvnosti znoshuvannia lez nozha vovchka, *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*, 2013, No 2, pp. 128-135.
2. Pat. 88056 Ukraina, MPK V02S18/30 Vovchok universalnyi, Nekoz O. I., Osypenko V. I., Filimonova N. V., Batrachenko O. V., Khomiak A. V. Zaiavl. 21.10.2013, Opubl. 25.02.2014, Biul. 2014, pp. 4.
3. Maschinenfabrik Dornhan GmbH. <http://www.mado.de/>.
4. Peleev A. Y., Peleeva S. A. Opredelenie davleniya ystecheniya miasa cherez reshetky ot dyametra reshetky, skorosty ystecheniya y stepeny deformatsyy, *Miasnaia yndustryia SSSR*, 1973, No 6, pp. 31-32.
5. Brazhnykov A. M., Horbatov A. V. Ystecheniye yzmelchennoho hoviazheho sy`ria cherez fylerny`e reshetky, *Miasnaia yndustryia SSSR*, 1986, No 3, pp. 27-30.
6. Horiaev V. V. Sovershenstvovanye konstruksiy y metodyky rascheta rezhushcheho mekhanyzma volchkov: avtoref. dyss. na soysk. nauchnoi stepeny kandydata tekhnicheskyykh nauk, Moskva, 1989, pp.16.
7. Maksymov D. A. Razrabotka adaptirovannoho hybkoho podaiushcheho rabocheho orhana v volchkakh: avtoref. dyss. na soysk. nauchnoi stepeny kandydata tekhnicheskyykh nauk, Moskva, 2008, pp. 21.
8. Buby`renko V. K. Yssledovanye volchkov s tseliu povysheniya ykh e`ffektivnosti y dolhovechnosti rabochykh orhanov: avtoref. dyss. na soysk. nauchnoi stepeny kandydata tekhnicheskyykh nauk, Moskva, 1977, pp. 24.
9. Schnackel W., Krickmeier J., Pongjanyanukul W., Schnackel D., Micklisch I., Haack O. Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses, *Fleischwirtschaft*, 2012, No3, pp. 148-153.
10. Batrachenko O. V. Pidvyshchennia efektyvnosti roboty ta dovhovichnosti miasorizalnykh mashyn: dys.... kandydata tekhn. nauk, 05.18.12, Vinnytsia, 2014, pp. 284.

Рецензія/Peer review : 10.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Рецензент: к. т. н., доцент Л. М. Мізнік

ВИКОРИСТАННЯ ШАТУННИХ КРИВИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДВОКРИВОШИПНИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ З РЕГУЛЬОВАНОЮ АМПЛІТУДОЮ КОЛИВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ

В статті розглянуто питання аналізу та синтезу двокривошипних важільних механізмів з регульованою амплітудою коливання кутової швидкості вихідної ланки, одержаних з використанням шатунних кривих базового механізму, яка конструктивно легко досягається зміною положення центра обертання вихідної ланки. Такі механізми можуть бути зв'язані з системами автоматичного керування.

Ключові слова: важільні механізми, шатунні криві, коливання швидкості, кут передачі, коефіцієнт нерівномірності руху, коефіцієнт динамічності.

KINYCKYI YA.T., HOLOVKO O.V., MARCHENKO M.V.
Khmelnytskyi National University

THE USAGE OF COUPLER CURVES FOR THE DESIGNING OF DOUBLE-CRANKED LINKAGE MECHANISMS WITH ADJUSTABLE RANGE OF ANGULAR VELOCITY OF THE OUTPUT LINK

Abstrac – The paper deals with the problems of analysis and synthesis of the double-cranked linkage mechanisms with adjustable range of angular velocity of the output link which is obtained by using of the coupler curves of the base mechanism by means of the changing of the rotation center of the output link. On the basis of the algorithm which is specified in the paper, the Mathcad-program which allows to perform an analytical research of the kinematical parameters of the mechanism was made up. It enabled to determine the influence of the rotation center position of the output link into the values of the coefficients of the movement irregularity and dynamism. The diagrams of these values changing were made up and it is possible to find an appropriate adjustment range or, on the contrary, it is possible to find corresponding values of the movement irregularity coefficient and dynamism coefficient using given values of the axial distance of the mechanism. Using that data it is possible to enlarge the design and functional capabilities of the mechanisms and to create more simple transmission mechanisms with rotation motion of the output link which enables to adjust the amplitude of the oscillations of the output link. Such mechanisms can be used in the drives of the different vibrating machines and can be easily connected with the systems of automatic control

Keywords: double-cranked linkage, coupler curves, velocity oscillation, transmission angle, coefficient of the movement irregularity, coefficient of the dynamism.

В сучасній техніці отримали застосування механізми, які забезпечують при сталому обертовому русі вхідної ланки нерівномірний обертовий рух вихідної ланки. Як ми вже відзначали в попередніх роботах [1, 2], до таких механізмів відносяться зубчасті механізми з некруглими колесами [4], які мають у своєму складі вищу кінематичну пару, та важільні механізми: двокривошипний кулісний та двокривошипний шарнірний чотириланковий механізми. Аналіз та синтез двокривошипних чотириланкових важільних механізмів за заданим коефіцієнтом нерівномірності руху вихідної ланки або коефіцієнтом динамічності наведено у вказаних роботах.

Далі розглянемо аналіз та синтез двокривошипних важільних механізмів (рис.1, а), одержаних з використанням шатунних кривих базового механізму. Для прикладу за базовий механізм приймемо кривошипно-повзунний механізм (ланки 0, 1, 2, 3), до якого у точці С приєднаємо структурну групу II класу III виду (ланки 4 і 5), причому центр обертання ланки 5 розмістимо в середині шатунної кривої, яку описує точка С. У такому випадку ланка 5 також буде здійснювати обертовий рух зі змінною кутовою швидкістю. Міняючи положення точки С на шатуні 2 або центра обертання ланки 5 в середині шатунної кривої, змінюємо амплітуду коливання кутової швидкості цієї ланки.

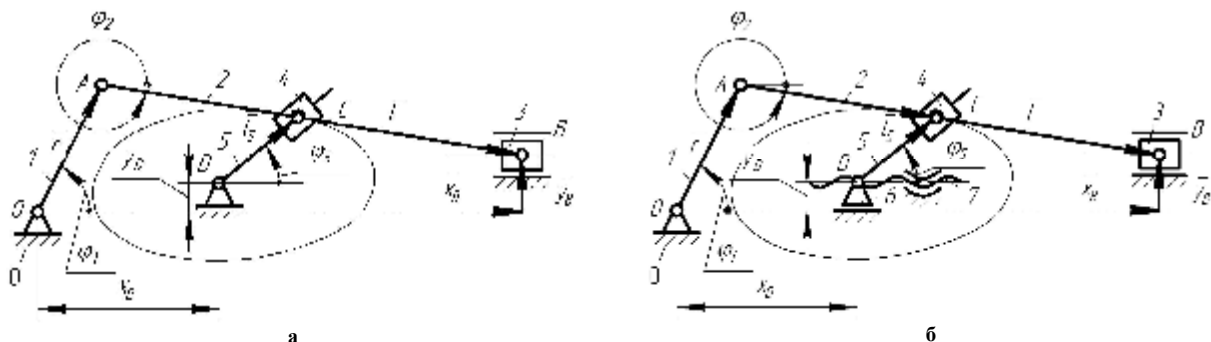


Рис.1. Двокривошипний шарнірний чотириланковий механізм: а) $a = \text{const}$; б) $a \neq \text{const}$

На рисунку 1, б зображено кінематичну схему двокривошипного шестиланкового важільного механізму з регульованою міжосьовою відстанню $a = OD = \sqrt{x_D^2 + y_D^2}$. В цьому механізмі куліса 5 встановлена на рухомій опорі 6 і стає другим кривошипом, положення якої регулюється гвинтом 7, що дозволяє змінювати міжосьову відстань a . При рівномірному обертанні кривошипа 1 ланка 5 обертається

нерівномірно. Характеристиками такого руху є коефіцієнти нерівномірності руху δ та динамічності ϵ_d , які знаходяться за відомими формулами [1 – 6]:

$$\delta = \frac{\omega_{5\max} - \omega_{5\min}}{\omega_c}, \quad \epsilon_d = \frac{\epsilon_{5\max}}{\omega_c^2}, \quad (1)$$

де $\omega_{5\max}$, $\omega_{5\min}$ – відповідно максимальна і мінімальна кутова швидкість ланки 5;

ω_c – її середня кутова швидкість, у нашому випадку $\omega_c = \omega_1$;

$\epsilon_{5\max}$ – максимальне кутове прискорення ланки 5.

Для визначення основних кінематичних параметрів механізму використаємо метод замкнених векторних контурів [4, 5]. Цей механізм можна зобразити у вигляді двох замкнених векторних контурів OAB (рис. 1), для яких маємо такі векторні рівняння:

$$\vec{r} + \vec{l} = \vec{x}_B + \vec{y}_B, \quad (2)$$

$$\vec{r} + \vec{l}_{AC} = \vec{x}_D + \vec{y}_D + \vec{l}_5, \quad (3)$$

де $r = l_{OA}$, $l = l_{AB}$, $l_5 = l_{CD}$.

Спроекуємо ці векторні контури на координатні осі x і y та запишемо рівняння проєкцій на них:

$$r \cos \varphi_1 + l \cos \varphi_2 = x_B, \quad r \sin \varphi_1 + l \sin \varphi_2 = y_B; \quad (4)$$

$$r \cos \varphi_1 + l_{AC} \cos \varphi_2 = x_D + l_5 \cos \varphi_5, \quad r \sin \varphi_1 + l_{AC} \sin \varphi_2 = y_D + l_5 \sin \varphi_5, \quad (5)$$

де φ_1 — узагальнена координата (кут повороту кривошипа OA).

Значення кутів φ_2 і φ_5 можна одержати відповідно із рівнянь (4) і (5):

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{y_B - r \sin \varphi_1}{l}; \quad \varphi_5 = \arctg \frac{r \sin \varphi_1 + l_{AC} \sin \varphi_2 - y_D}{r \cos \varphi_1 + l_{AC} \cos \varphi_2 - x_D}. \quad (6)$$

Диференціюючи рівняння (6) за узагальненою координатою механізму φ_1 , одержимо залежності для визначення аналогів кутових швидкостей шатуна 2 $\varphi'_2 = d\varphi_2/d\varphi_1$ та ланки 5 $\varphi'_5 = d\varphi_5/d\varphi_1$. Повторно диференціюючи рівняння (6) за узагальненою координатою механізму φ_1 , одержимо залежності для визначення аналогів кутових прискорень відповідних ланок: $\varphi''_2 = d\varphi'_2/d\varphi_1 = d^2\varphi_2/d^2\varphi_1$ та $\varphi''_5 = d\varphi'_5/d\varphi_1 = d^2\varphi_5/d^2\varphi_1$.

Знаючи аналоги швидкостей і прискорень, знаходимо дійсні фізичні величини за формулами [4, 5] ($\omega_1 = \text{const}$):

$$\omega_2 = \varphi'_2 \omega_1, \quad \omega_5 = \varphi'_5 \omega_1, \quad \epsilon_2 = \varphi''_2 \omega_1^2, \quad \epsilon_5 = \varphi''_5 \omega_1^2, \quad (8)$$

де ω_i – кутова швидкість відповідної ланки ($i=2$ або 5);

ϵ_i – їх кутові прискорення.

При $\omega_1 = 1$ швидкості та прискорення чисельно дорівнюють відповідним аналогам.

На основі вказаного алгоритму було складено комп'ютерну програму в системі Mathcad [6], яка дозволила виконати аналітичне дослідження кінематики цих механізмів і встановити вплив положення центра обертання ланки 5 на характер зміни основних кінематичних параметрів руху вихідної ланки, зокрема на величину її коефіцієнтів нерівномірності руху та динамічності.

На рисунках 2 – 4 наведені основні кінематичні діаграми ланки 5 залежно від міжосьової відстані x_D ($x_{D\min} < x_D < x_{D\max}$). Аналогічні діаграми можна одержати зміною положення центра обертання ланки 5 вздовж осі ординат чи відносно будь-якої іншої прямої.

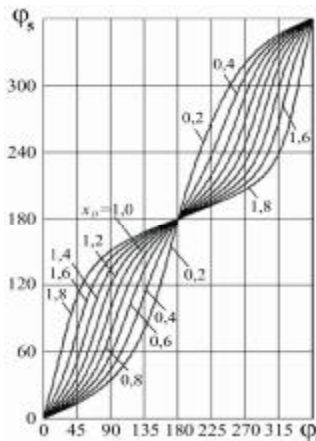


Рис. 2. Діаграми кутових переміщень ланки 5

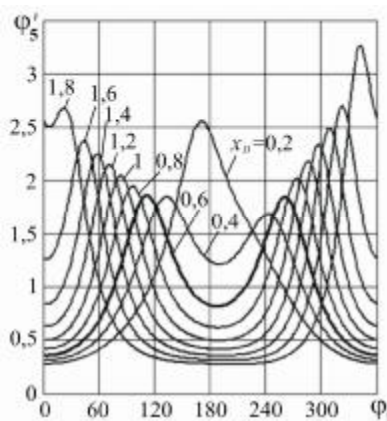


Рис. 3. Діаграми аналогів кутових швидкостей ланки 5

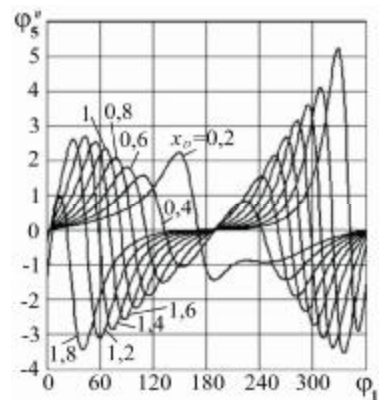


Рис. 4. Діаграми аналогів кутових прискорень ланки 5

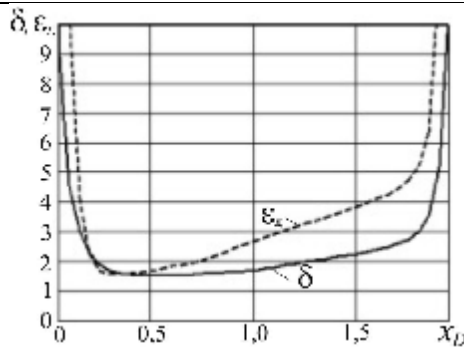


Рис. 5. Діаграми зміни коефіцієнтів нерівномірності руху δ та динамічності ϵ_d

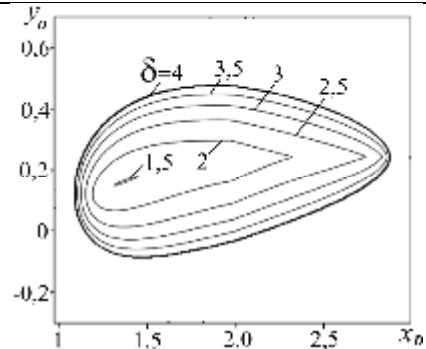


Рис. 6. Ізолії коефіцієнтів нерівномірності руху δ

На рисунку 5 наведено діаграми зміни коефіцієнтів нерівномірності руху δ та динамічності ϵ_d залежно від міжосьової відстані x_D ($x_{D\min} < x_D < x_{D\max}$). За допомогою цих діаграм, знаючи потрібні значення δ або ϵ_d , можна знайти відповідний діапазон регулювання положення центра обертання ланки 5 або навпаки, знаючи положення центра обертання ланки 5, можна знайти відповідне значення δ чи ϵ_d .

На рисунку 6 наведено геометричні місця (ізолії) однакових коефіцієнтів нерівномірності руху вихідної ланки 5 залежно від положення центра її обертання в межах шатунної кривої. Змінюючи положення точки С на відповідних лініях, змінюємо закон руху вихідної ланки при одному і тому ж значенні δ .

Висновки

На основі вказаного в роботі алгоритму було складено комп'ютерну програму в системі Mathcad, яка дозволила виконати аналітичне дослідження кінематики двокривошипного шестиланкового механізму і встановити вплив величини міжосьової відстані на характер зміни основних параметрів руху вихідної ланки, зокрема на величину коефіцієнтів нерівномірності руху та динамічності. Побудовано діаграми зміни їх величин, за допомогою яких, знаючи потрібні їх значення, можна знайти відповідний діапазон регулювання міжосьової відстані або, навпаки, знаючи величину міжосьової відстані, можна знайти відповідні значення коефіцієнтів нерівномірності руху та динамічності. Використання наведених даних дозволяє розширити конструктивні та функціональні можливості вказаних механізмів і створити прості за конструкцією передаточні механізми обертового руху, які забезпечують регулювання амплітуди коливання вихідної ланки. Такі механізми можна використовувати в приводах різних вібраційних машин, вони можуть бути легко пов'язані з системами автоматичного керування машин.

Література

1. Кіницький Я.Т. Аналіз і синтез двокривошипного кулісного механізму з регульованою амплітудою коливання кутової швидкості вихідної ланки / Я. Т. Кіницький, О.В. Головка, М.В. Марченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – №2. – С. 18–22.
2. Кіницький Я.Т. Двокривошипні чотириланкові механізми з регульованою амплітудою коливання кутової швидкості вихідної ланки / Я. Т. Кіницький, О.В. Головка, М.В. Марченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – №4. – С. 14–19.
3. Кожевников С.Н. Механизмы. Справочник / С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин //. – М.: Машиностроение, 1976. – 784 с.
4. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
5. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин / Я.Т. Кіницький. – К.: Наукова думка, 2002. – 660 с.
6. Дьяконов В. Mathcad 2000: учебный курс / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.

References

1. Kinyckiy YA.T., Holovko O.V., Marchenko M.V. Analysis and synthesis of two-cranked rocker mechanism with adjustable angular velocity amplitude of output link. – Khmelnytskyi: Visnyk KhNU, №2, 2013. – P. 18–22.
2. Kinyckiy YA.T., Holovko O.V., Marchenko M.V. Four-bar linkages with adjustable angular velocity amplitude of output link. – Khmelnytskyi: Visnyk KhNU, № 4, 2013. – P. 14–19.
3. Kozhevnikov S.N., Esipenko J.I., Raskin J.M. Mechanisms. Handbook. – Moscow: Mashinostroenie, 1976. – 784 p.
4. Artobolevsky I. Theory of mechanisms and machines. – Moscow: Nauka, 1988. – 640 p.
5. Kinyckiy J.T. Theory of mechanisms and machines. – Kyiv: Naukova Dumka, 2002. – 660 p.
6. Dyakonov V. Mathcad 2000: training course. – St.P: 2001. – 592 p.

Рецензія/Peer review : 26.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Стечишин М.С.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ АЗОТОВАНИХ СТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ГЕОМЕТРІЇ БАГАТОВИМІРНОГО ПРОСТОРУ

Розглянуто метод побудови графічних оптимізаційних моделей багатofакторних процесів на базі креслення Радищева, що дозволяє визначати оптимальні умови проведення технологічних процесів та прогнозувати властивості досліджуваних об'єктів. Побудовано модель оптимізації вибору технологічних параметрів режиму азотування у тліючому розряді з метою отримання комплексу характеристик, що визначають зносостійкість азотованої сталі.

Ключові слова: моделювання, графічна модель, багатofакторний процес, креслення Радищева, гіперповерхня, гіперплощина, тліючий розряд, модифікований шар, зносостійкість.

G.M. SOKOLOVA

Khmelnitsky National University

PREDICTION OF THE WEAR RESISTANCE OF NITRIDED STEEL BY THE METHODS OF MULTIDIMENSIONAL SPACE GEOMETRY

The method of study of multifactorial processes by means of multidimensional space descriptive geometry is considered. This method makes it possible to represent functional dependence of processes resulting characteristics of any number of factors that determine their course.

The method of creation of graphic optimization models of multifactor processes is based on Radishchev drawings. Its peculiarity lies in the fact that the position of the point is determined by its three projections, which are located on the same lines. These models allow to determine the optimum conditions of processes and to predict the properties of the objects of study.

The model of determining of the optimum parameters area for the nitriding in glow discharge was created. It makes it possible to determine the mode parameters that provide the required wear resistance.

Key words: modeling, graphical model, multifactorial process, Radishchev drawing, hypersurface, hyperplane, glow discharge, modified layer, wear resistance.

Вступ

Для отримання заданих триботехнічних характеристик поверхонь тертя використовуються різноманітні технологічні методи модифікації матеріалів. До числа найбільш освоєних та широко використовуваних методів відноситься азотування у тліючому розряді (АТР). Чи не найбільшою його перевагою вважається керованість процесу, тобто можливість отримання необхідних результуючих характеристик залежно від параметрів режиму АТР. Між тим, при строгому підході, ця керованість є доволі відносною, оскільки за весь час використання вказаної технології прогнозування її результатів не вийшло за межі передбачення якісних змін. Як правило, у присвячених цьому питанню роботах вплив параметрів азотування на його результат оцінюється з позицій зростання або зменшення певної характеристики (найчастіше – мікротвердості поверхні). Що ж стосується визначення кількісних показників модифікованого шару, то як свідчить наведений в [1] аналіз джерел з аналітичного моделювання процесу АТР, ця задача є далекою від вирішення, тому на сьогодні питання розробки і застосування нових методів прогнозування властивостей азотованих сталей з метою покращення керованості процесу АТР зберігає свою актуальність.

Аналіз джерел за темою дослідження

Задача прогнозування зносостійкості будь-яких матеріалів неабияк ускладнюється відсутністю єдиних, загальноприйнятих поглядів на питання визначення її критеріїв, що насамперед пов'язано із неможливістю урахування усіх факторів, відповідальних за умови, якісну картину та механізм зношування.

Наведений у роботі [2] критичний аналіз запропонованих у різний час критеріїв зносостійкості матеріалів змусив її авторів дійти висновку, що аналітичний шлях опису зношування і оцінки зносостійкості є дуже складним, малодостовірним, а можливо, й неприпустимим, адже базується він, як правило, на одному або декількох явищах. Вони можуть бути основними, однак не визначають у повній мірі опору спряжених поверхонь зношуванню, чим і пояснюється відмінність розрахункових даних щодо інтенсивності зношування матеріалів від отриманих експериментально. Більш перспективним автори вказаної роботи вважають підхід, що дозволяє ранжувати зносостійкість матеріалів на базі їхніх стандартних фізико-механічних характеристик. Результати аналізу експериментального матеріалу дозволили їм зробити висновок, що для інженерної практики найбільш доцільним, а головне, доступним, є вибір зносостійких сталей шляхом порівняння комплексу їхніх механічних властивостей – перевищення усіх характеристик міцності та пластичності однієї сталі над відповідними характеристиками іншої є достатньою підставою вважати цю сталь більш зносостійкою [2, с. 395].

Оцінювання з таких позицій зносостійкості азотованих в тліючому розряді сталей може зокрема передбачати порівняння мікротвердості модифікованого шару та його структури. Відомо, що у загальному випадку азотований шар складається з зони нітридних сполук (Fe_{2-3}N – ϵ -фаза, Fe_4N – γ' -фаза) і розташованої під нею дифузійної зони або, як її ще називають, зони внутрішнього азотування (азотистого α -твердого

розчину $\alpha\text{-Fe}_{(\text{N})}$), причому, чим тоншою є нітридна зона, тим більш пластичним є азотований шар. Найвища пластичність відповідає шару без нітридної зони [3].

Модифіковані шари необхідної мікротвердості, структури та фазового складу отримують шляхом варіювання технологічними параметрами режиму процесу АТР. Таким чином, забезпечення комплексу необхідних характеристик, що визначають собою зносостійкість сталі, можна розглядати як задачу оптимізації вибору режимів азотування за двома показниками – мікротвердістю поверхні та товщиною нітридної зони. Використання методів математичного моделювання дозволяє вирішити цю задачу з високим ступенем точності. Аналітичні моделі, як зазначалося в роботі [1], можуть виявитися доволі громіздкими, особливо при наявності значної кількості вихідних факторів впливу, тому на особливу увагу заслуговує наведений у [4] метод побудови графічних моделей оптимізаційної області багатofакторних процесів, в якому вихідні фактори процесу та отримані результати розглядаються як елементи багатовимірного простору. Ці моделі вирізняються не лише наочністю представлення результатів, – що становить найбільшу їхню перевагу, – але й відносною простотою реалізації. Крім того, процес побудови моделі надає широкі можливості для його автоматизації, що має неабияке значення з точки зору перспектив її застосування.

В основу методу покладена модель чотиривимірного простору Радищева, особливість якої полягає у тому, що положення точки у цьому просторі визначається трьома її проекціями, які розташовані на одній лінії зв'язку (рис. 1). Розмірність креслення може бути збільшена, що, зрозуміло, спричинить збільшення кількості проекційних площин, але проекції точки при цьому і надалі лежатимуть на одній лінії зв'язку. Наведене у роботі [5] обґрунтування адекватності креслення Радищева як моделі багатовимірного простору дозволяє використовувати його для розв'язання задач оптимізації багатofакторних процесів.

Загальний алгоритм побудови геометричних моделей оптимізації процесу за двома результатуючими показниками наведений у роботі [6] і може бути представлений наступною схемою (рис. 2).

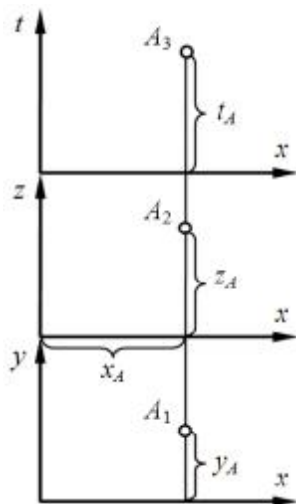


Рис. 1. Модель чотиривимірного простору Радищева [4]

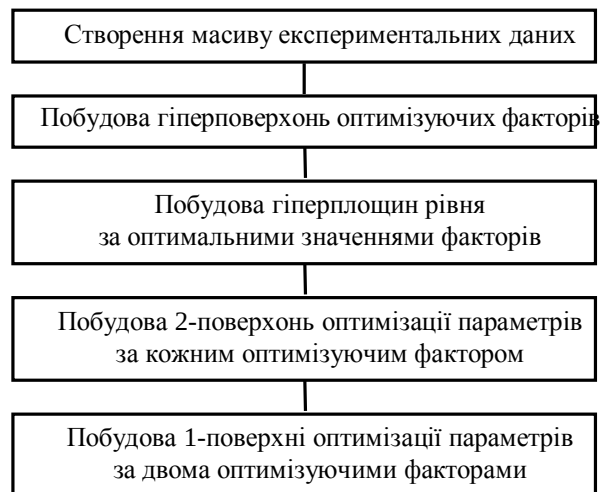


Рис. 2. Алгоритм побудови графічних оптимізаційних моделей багатofакторних процесів

Наведений алгоритм побудови графічних моделей може використовуватись при різній кількості оптимізуючих факторів та параметрів оптимізації (терміни прийняті згідно з [4 – 6]).

Постановка завдання

На базі загального алгоритму побудови графічних оптимізаційних моделей багатofакторних процесів створити модель оптимізації вибору режимних параметрів АТР, здатних забезпечити необхідну зносостійкість сталі, критерієм якої виступає комплекс результуючих характеристик модифікованого шару, а саме – задані мікротвердість поверхні та товщина нітридної зони.

Виклад основного матеріалу

Сутність пропонованого методу моделювання розглянемо на прикладі побудови графічної моделі визначення області оптимальних параметрів режиму АТР, здатних забезпечити необхідний рівень зносостійкості азотованої в тліючому розряді сталі 40Х. Модель будуватиметься на основі експериментально отриманих даних, що характеризують залежності оптимізуючих факторів (для процесу АТР – мікротвердості поверхні та товщини нітридної зони) від параметрів оптимізації (режимів азотування).

Експериментальні дослідження проводились на установці УАТР-1, призначеній для азотування в тліючому розряді у безводневих газових середовищах. Всього проведено 27 технологічних процесів. Після азотування контрольні зразки циліндричної форми (діаметр 5 мм, довжина 20 мм) розрізались в діаметральній площині при параметрах різання, які не призводили до суттєвого їх нагрівання, що забезпечувало незмінність структури модифікованого поверхневого шару. Мікротвердість вимірювалась на мікротвердомірі ПМТ-3. Травлення сталей для виявлення структури азотованого шару виконувалось за

допомогою 3-відсоткового спиртового розчину азотної кислоти HNO_3 . Вимірювання товщини нітридної зони проводилося за допомогою металографічного мікроскопа МІМ-10; її середнє значення розраховувалося як середнє арифметичне значення вимірювань, проведених у 25 точках досліджуваного зразка.

Параметри режимів процесу АТР та необхідні для побудови моделі показники модифікованого шару для сталі 40Х наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Технологічні режими азотування та його результати для сталі 40Х

Номер режиму	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Тиск, торр	Склад газового середовища	Мікротвердість поверхні за Віккерсом HV	Середня товщина нітридної зони h , мкм
1	520	0,6	N80Ar20	822	3,38
2			N50Ar50	885	5,25
3			N20Ar80	790	2,86
4		0,9	N80Ar20	925	5,36
5			N50Ar50	941	7,83
6			N20Ar80	857	3,18
7		1,2	N80Ar20	974	5,04
8			N50Ar50	931	6,46
9			N20Ar80	803	2,24
10	560	0,6	N80Ar20	886	7,80
11			N50Ar50	915	11,49
12			N20Ar80	753	3,63
13		0,9	N80Ar20	918	5,55
14			N50Ar50	902	9,01
15			N20Ar80	808	2,18
16		1,2	N80Ar20	924	11,25
17			N50Ar50	916	8,47
18			N20Ar80	851	5,23
19	600	0,6	N80Ar20	918	15,89
20			N50Ar50	836	16,69
21			N20Ar80	856	9,22
22		0,9	N80Ar20	871	3,48
23			N50Ar50	901	10,83
24			N20Ar80	777	8,15
25		1,2	N80Ar20	880	14,05
26			N50Ar50	885	17,78
27			N20Ar80	809	6,07

Гіперповерхні оптимізуючих факторів задаються сімействами 1-поверхонь, які в даному випадку представлені кривими залежностей мікротвердості поверхні та товщини нітридної зони від режимних параметрів процесу – температури T , тиску p та вмісту азоту у газовій суміші N (рис. 3).

Побудова цих кривих передбачає представлення кожного експерименту (умов його проведення і результату) у якості 0-площини з певним набором координат. Так, для експерименту, проведеного за першим технологічним режимом, координати 0-площини становитимуть: 822 HV; $T = 520^{\circ}\text{C}$; $p = 0,6$ торр; $N = 80\%$. Шляхом варіювання одного з параметрів режиму (у прикладі, що розглядається, це температура, яка приймає значення $T = 560^{\circ}\text{C}$ та $T = 600^{\circ}\text{C}$) визначають ще дві 0-площини, після чого через три 0-площини проводять апроксимуючу 1-поверхню, яка на кресленні представлена кривою $Hr06N80$. Присвоюючи параметру N значення $N = 50\%$ і варіюючи параметром T , отримують ще три 0-площини, через які проводять наступну апроксимуючу 1-поверхню ($Hr06N50$). Аналогічно отримують 1-поверхню, представлену кривою $Hr06N20$. Далі параметру p присвоюють значення $p = 0,9$ торр і після варіювання параметрів T та N отримують криві $Hr09N80$, $Hr09N50$, $Hr09N20$. І нарешті після присвоєння $p = 1,2$ торр аналогічним чином будують 1-поверхні, представлені кривими $Hr12N80$, $Hr12N50$, $Hr12N20$.

Сукупність дев'яти перерахованих 1-поверхонь утворює каркас гіперповерхні мікротвердості поверхні модифікованого шару сталі, азотованої в тліючому розряді. Каркас гіперповерхні товщини нітридної зони (1-поверхні $hp06N80$, $hp06N50$, $hp06N20$; $hp09N80$, $hp09N50$, $hp09N20$; $hp12N80$, $hp12N50$, $hp12N20$) будується аналогічно.

Залежно від умов майбутньої експлуатації деталі задається необхідна комбінація результуючих характеристик модифікованого шару. Припустімо, що азотована деталь працюватиме в корозійному середовищі при малих контактних навантаженнях. Згідно з наведеними у роботі [3] рекомендаціями це вимагає високої твердості поверхні і розвинутої нітридної зони, тому, як варіант, присвоїмо оптимізуючим факторам наступні значення: 900 HV, $h = 12$ мкм. Геометрично ці значення є гіперплощинами рівня.

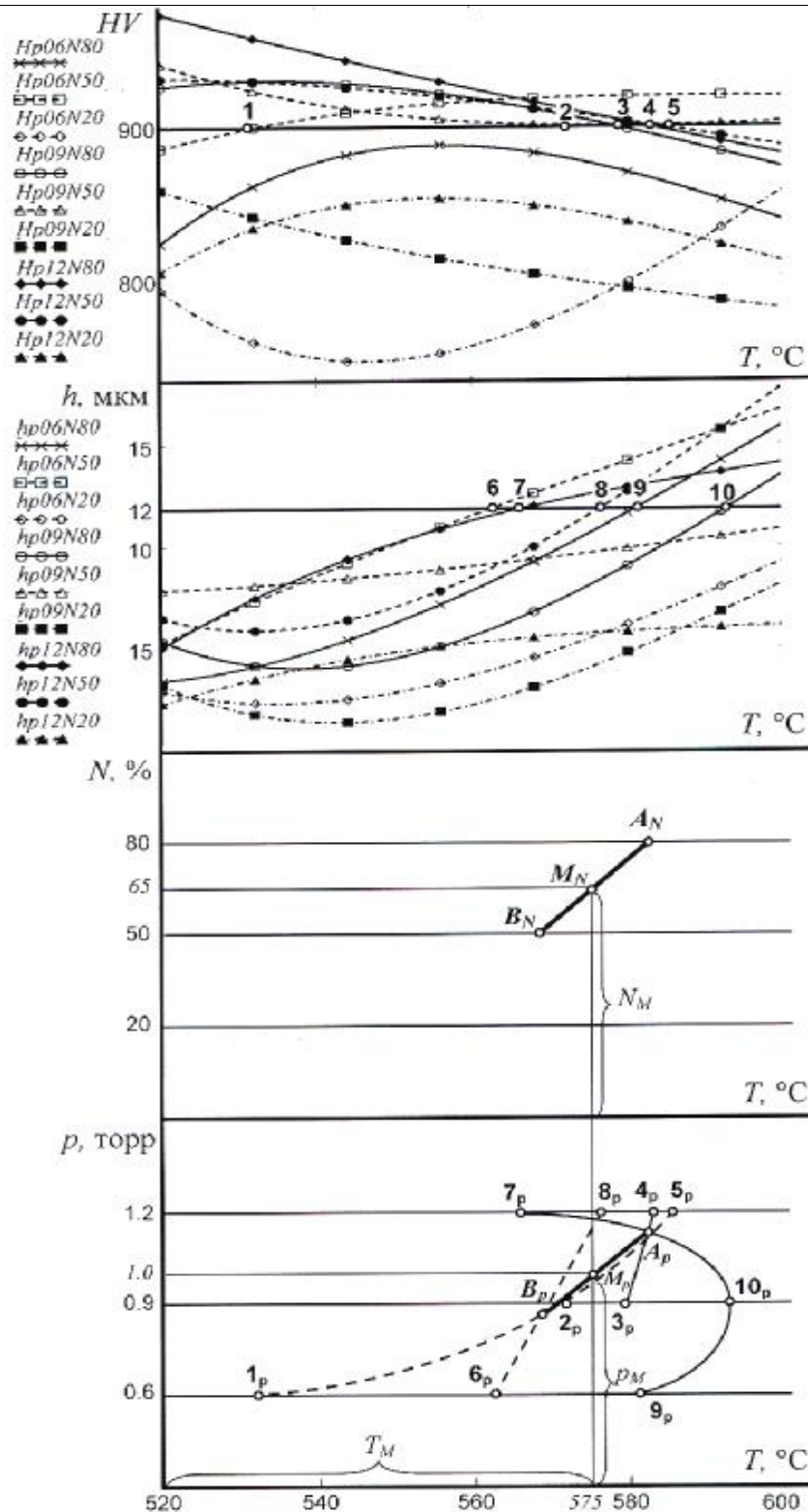


Рис. 3. Графічна модель оптимізації процесу азотування у тліючому розряді (визначення області параметрів режиму за комплексом результатуючих характеристик)

Для розширення гіперповерхонь один з параметрів (у наведеному прикладі – вміст азоту у газовій суміші $N = 80\%$) приймається постійною величиною, при цьому параметри T та p варіюються. Нехай при $N = 80\%$ параметр p змінюється дискретно, приймаючи значення $p_1 = 0,6$ торр, $p_2 = 0,9$ торр та $p_3 = 1,2$ торр, а параметр T приймає значення $T_1 = 520$ °C, $T_2 = 560$ °C та $T_3 = 600$ °C, тоді отримаємо 2-поверхню оптимізації $Hr06N80$, $Hr09N80$, $Hr12N80$ фактора H та 2-поверхню оптимізації $hr06N80$, $hr09N80$, $hr12N80$ фактора h для кожного значення p . У результаті перетину кожної з вказаних 2-поверхонь з відповідною гіперплощиною рівня отримаємо дві 1-поверхні: 3-4 та 9-10-7. Визначимо 0-площину їх перетину $A(A_p, A_N)$.

Аналогічно, варіюючи значення p та T при $N = 50\%$, отримаємо 2-поверхню оптимізації $Hr06N50$, $Hr09N50$, $Hr12N50$ фактора H і 2-поверхню оптимізації $hr06N50$, $hr09N50$, $hr12N50$ фактора h та визначимо

1-поверхні їх перетину з відповідними гіперплощинами рівня: 1-2-5 та 6-8, після чого знайдемо 0-площину їх перетину $B(B_p, B_N)$.

Очевидно, що 2-поверхні оптимізації $Hp06N20$, $Hp09N20$, $Hp12N20$ та $hp06N20$, $hp09N20$, $hp12N20$ з гіперплощинами рівня не перетинаються (див. рис. 3). Це означає, що отримати задану комбінацію мікротвердості поверхні та товщини нітридної зони при $N = 20$ % неможливо.

У загальному випадку дискретна кількість 0-площин утворює 1-поверхню, яка визначає область оптимізації вихідних параметрів. У даному прикладі 0-площини $A(A_p, A_N)$ та $B(B_p, B_N)$ утворюють 1-поверхню $AB(A_pB_p, A_NB_N)$, яка визначає область оптимізації вибору технологічних параметрів режиму АТР. Вона обмежена наступними значеннями: температура – від 570 до 583 °С, тиск – від 0,85 до 1,15 торр, вміст азоту у газовому середовищі – від 50 до 80 %. Координати будь-якої 0-площини (наприклад, 0-площини $M(M_p, M_N)$ з координатами $T_M = 575$ °С, $p_M = 1$ торр, $N_M = 65$ %), що належить 1-поверхні $AB(A_pB_p, A_NB_N)$, є тією комбінацією параметрів режиму, при якій мікротвердість поверхні становить 900 HV, а товщина нітридної зони $h = 12$ мкм.

Очевидною перевагою наведеного методу моделювання є наочність. Графічне представлення залежностей результатів азотування від параметрів режиму дозволяє іще до проведення побудов зробити попередні висновки щодо можливості забезпечення необхідних властивостей модифікованого шару. Наприклад, якщо бажана комбінація результуючих характеристик передбачає поєднання високої мікротвердості поверхні з максимально можливим значенням товщини нітридної зони, то з двох підходящих для цього варіантів параметрів режиму ($T_1 = 600$ °С, $p_1 = 0,6$ торр, $N_1 = 50$ % та $T_2 = 600$ °С, $p_2 = 1,2$ торр, $N_2 = 50$ %) доцільніше обрати перший, оскільки, як видно з рис. 3, при майже рівних значеннях товщини нітридної зони мікротвердість поверхні за таких умов азотування значно вища.

Таким чином, дослідження багатофакторних процесів за допомогою методів нарисної геометрії багатовимірного простору дає можливість графічно представляти функціональні залежності результуючих характеристик процесу від довільної кількості факторів впливу. Наведений метод побудови оптимізаційних моделей на базі креслення Радищева дозволяє визначати оптимальні умови проведення будь-яких технологічних процесів та прогнозувати властивості досліджуваних об'єктів.

Висновки

Розглянуто графічний метод побудови оптимізаційних моделей багатофакторних процесів засобами нарисної геометрії багатовимірного простору. Побудовано модель визначення області оптимальних параметрів режиму АТР, здатних забезпечити необхідний рівень зносостійкості азотованої сталі.

Література

1. Соколова Г. М. Аналітичне моделювання процесу модифікації металевих поверхонь в тліючому розряді з автономними параметрами режиму / Г. М. Соколова, І. М. Пастух // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 11–16.
2. Виноградов В. Н. Износостойкость сталей и сплавов : учеб. пособие для вузов / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин. – М. : Нефть и газ, 1994. – 417 с.
3. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.
4. Чижик М. А. Применение методов инженерной геометрии для решения задач оптимизации многофакторных процессов / М. А. Чижик, В. Я. Волков, Е. Я. Сурженко // Вестник ТГТУ. – 2012. – Т. 18. – № 14. – С. 840 – 848.
5. Устинова О. В. Разработка оптимизационной модели процесса соединения текстильных материалов на основе чертежа Радищева многомерного пространства : автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук : 05.01.01 / О. В. Устинова ; Омский гос. ин-т сервиса. – Омск, 2006. – 23 с.
6. Чижик М. А. Алгоритмы конструирования графических оптимизационных моделей многофакторных процессов / М. А. Чижик, К. С. Яковенко, В. Я. Волков // Омский научный вестник. – 2012. – № 1. – С. 17–20.

References

1. Sokolova G. M. Analitichne modelyuvannya protsesu modifikatsiyi metallevih poverhon v tilyuchomu rozryadi z avtonomnimi parametrami rezhimu / G. M. Sokolova, I. M. Pastuh // Visnik HNU. Tehnichni nauki. – 2015. – # 2. – S. 11–16.
2. Vinogradov V. N. Iznosostoykost staley i splavov : ucheb. posobie dlya vuzov / V. N. Vinogradov, G. M. Sorokin. – M. : Neft i gaz, 1994. – 417 s.
3. Lahtin Yu. M. Himiko-termicheskaya obrabotka metallov / Yu. M. Lahtin, B. N. Arzamasov. – M. : Metallurgiya, 1985. – 256 s.
4. Chizhik M. A. Primenenie metodov inzhenernoy geometrii dlya resheniya zadach optimizatsii mnogofaktorniyh protsessov / M. A. Chizhik, V. Ya. Volkov, E. Ya. Surzhenko // Vestnik TG TU. – 2012. – T. 18. – # 14. – S. 840 – 848.
5. Ustinova O. V. Razrabotka optimizatsionnoy modeli protsesa soedineniya materialov na osnove chertezha Radischeva mnogomernogo prostanstva : avtoref. dis. na soiskanie nauchnoy stepeni kand. tehn. nauk : 05.01.01 / O. V. Ustinova ; Omskiy gosudarstvenniy institut servisa. – Omsk, 2006. – 23 s.
6. Chizhik M. A. Algoritmy konstruirovaniya graficheskikh optimizatsionnykh modeley mnogofaktorniyh protsessov / M. A. Chizhik, K. S. Yakovenko, V. Ya. Volkov // Omskiy nauchniy vestnik. – 2012. – # 1. – S. 17–20.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В КАМЕРЕ

В статье предложены способы практической реализации эксперимента по изучению характера распределения тепловых потоков по объему камеры печи в зависимости от изменения ее конструктивных параметров.

Ключевые слова: нагревательная печь, тепловая энергия, энергоэффективность, промышленный эксперимент.

YU. B. LIUSH

Zaporozhye State Engineering Academy

ORGANIZATION OF INDUSTRIAL EXPERIMENT AS FOR STUDYING OF CONSTRUCTION FEATURES INFLUENCE ON HEATING FURNACE OF HEAT ENERGY DISTRIBUTION IN CHAMBER

It is suggested in the article the ways of practical realization of experiments as for studying of heat flows distribution nature in terms of the furnace chamber depending on changes in its design parameters.

It is established that to improve the aerodynamics of considered heating furnaces is possible by changing the location of burners and exhaust boxes. But basing on the construction of such furnaces the most problematic during the mentioned above industrial experiments is the changing of exhaust boxes location, because it provides channels restructuring for flue gases in the walls, and in fact - their multiple relaying. To avoid this is possible in case of a special telescopic device using, which let create the additional channels between the real and necessary location.

Keywords: heating furnace, heat energy, energy efficiency, industrial experiment.

Вступление. Оценка энергоэффективности любого объекта может быть как качественной, так и количественной. В первом случае она характеризуется как высокая или низкая, а во втором – значением расхода энергоресурсов на единицу произведенной продукции, выполненных работ или оказанных услуг. Соответственно, для камерной нагревательной печи – это количество использованного природного газа на тонну обрабатываемого металла. Таким образом, энергоэффективность камерной нагревательной печи зависит от плотности теплового потока в зоне расположения заготовки и равномерности ее нагрева [1]. Этим в основном и определяется эффективность и рациональность использования энергетических ресурсов.

К тому же, как известно [2], производительность печей является варьируемым фактором. Одно и то же количество заготовок можно разогреть в одной печи или группе печей. Существует понятие оптимальной производительности печи, которая соответствует наименьшему расходу энергии на нагрев материала, либо минимальной себестоимости нагрева. Отсюда на первый план при конструировании или модернизации печей выдвигается требование эффективного использования энергоносителей, т.е. проблема энерго- и ресурсосбережения. С учетом сказанного немаловажный интерес с точки зрения решения практических и теоретических задач повышения энергоэффективности камерных нагревательных печей представляет изучение влияния их конструктивных особенностей на характер распределения тепловой энергии в объеме камеры.

Цель работы – практическая оценка влияния изменения местоположения горелочных устройств и окон для отвода продуктов сгорания на характер распределения тепловой энергии по объему камеры печи.

Результаты исследования. Объектом исследования является камера нагревательной печи с выкатным подом, которая расположена в инструментальном цехе ЧАО «Никопольский завод технологической оснастки». В печи имеется 4 горелки ГНП-3 и 6 вытяжных окон суммарной площадью 0,24 м². Сжигаемый газ и воздух подаются соответственно по газо- и воздухоподводящим трубам.

Время нагрева изделия по инструкции составляет до 16 часов. Средний расход природного газа на действующей печи - 61,4 м³/ч.

На исследуемой печи присутствует система теплового контроля и регулирования.

Геометрические параметры исследуемого объекта приведены в таблице 1.

Таблица 1

Геометрические параметры исследуемой камерной нагревательной печи с выкатным подом

Наименование показателей		Значение, мм
Длина печи	наружная	3218
	внутренняя	2550
Ширина печи	наружная	3364
	внутренняя	1400
Высота печи	наибольшая (до арочного свода)	1514
	наименьшая	1225

Толщина кладки	свода	302
	боковых стен	822
Окно закружки	ширина	1508
	высота	198

Анализ полученных по показаниям установленных в районе свода и подины камеры термодатчиков значений температур, а также фиксируемый большой перерасход печью газа свидетельствует о том, что аэродинамика действующей установки организована не рационально. Предположительно тепловые потоки от горелочных устройств поднимаются к своду печи, достигнув которого, они отражаются и попадают в нижнюю часть камеры, где и отводятся из рабочего пространства через вытяжные отверстия. Это приводит к тому, что основная часть тепловой энергии приходится на верхнюю часть камеры (рис. 1) и нагревает свод печи, а не металл, находящийся подине. Это оказывает определяющее влияние на тепловую работу печи, ведь большое значение имеет циркуляция газов, которая создается струями газов, и направленность движения тепловых потоков.

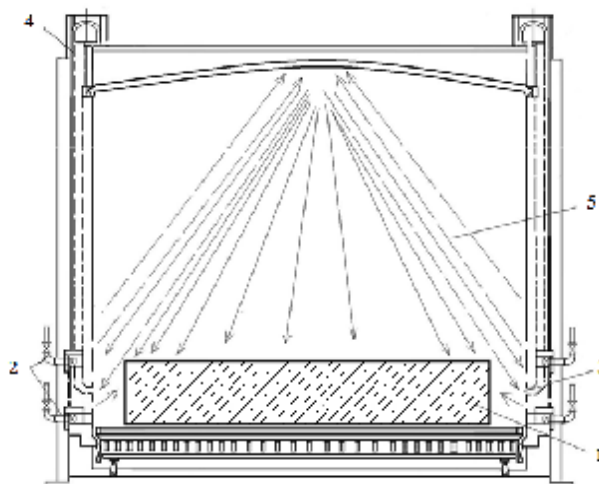


Рис. 1 – Камерная печь с выкатным подом:
 1 – заготовка; 2 – горелочные устройства; 3 – окна для отвода продуктов сгорания;
 4 – дымовой канал; 5 – условное обозначение направления движения тепловых потоков

Указанный недостаток вызван, по нашему мнению, не совсем корректным расположением таких конструктивных элементов, как горелочные устройства и окна для отвода продуктов сгорания, поэтому и была поставлена задача практической оценки влияния местоположения последних на характер распределения тепловой энергии по объему камеры печи. Если движение газовых потоков в печных установках может таким образом существенно изменяться, то это станет одним из рычагов повышения энергоэффективности процессов, протекающих в них.

Наиболее простым в организации является реализация эксперимента с изменением расхода газа. Логично предположить, что его снижение приведет к получению более низких температур при неизменных прочих параметрах эксперимента, и наоборот. Однако снижение суммарного расхода энергоресурсов может быть достигнуто как за счет сокращения времени их использования, как и за счет снижения удельного расхода. А поскольку время обработки металла жестко регламентировано во всех фазах процесса термообработки, то влияние всех вышеперечисленных факторов для нагревательных печей направлено на достижение нужной температуры в камере печи при меньшем расходе природного газа, что и представляет определенный интерес для изучения.

Что касается вышеописанных параметров, влияющих на картину температурных зон в камере печи, без существенных затрат поддается изменению местоположение только горелочных устройств по высоте боковых стенок камеры. Реализация же промышленного эксперимента с изменением расположения вытяжных окон практически невозможна, что связано с наличием дымовых путей, проходящих в кладке печи. Для его осуществления во избежание необходимости прокладки новых каналов в стенах установки предложено использовать телескопическое приспособление (рис. 2), состоящее из нескольких труб, последовательно входящих одна в другую с применением трапов и цанговых соединений для удобства регулировки. Диаметр этих труб подобран таким образом, чтобы площади сечения образовавшегося канала и существующих вытяжных окон соответствовали друг другу.

Поскольку при работе с высокими температурами применяются специальные жаропрочные материалы, то для организации отвода продуктов сгорания использовалась нержавеющая сталь марки 20Х23Н18, которая относится к жаропрочным изделиям, выдерживающим температуру до 1500°C и имеющим высокую коррозионную стойкость. Рекомендательный же температурный режим в печи существенно ниже и соответствует 800-1100°C. Эта марка стали, используемая в предложенном телескопическом

устройстве, биологически инертна и не магнитна. В её состав входят: никель, хром, титан, что придает материалу прочность, пластичность, а также позволяет использовать трубы в контакте с химическими реагентами: щелочами, солями кислот при температуре до 350°C. Что немаловажно для использования в качестве устройства для отвода продуктов сгорания из камеры печи.

С учетом сложности проведения эксперимента на реальном объекте перемещение указанных конструктивных элементов проводилось только по высоте камеры. Возможный диапазон варьирования расположения горелок и вытяжных окон, согласно существующим размерам камеры, составляет Н (0,2 ÷ 1,1) м при её общей высоте – 1,23м.

Изменение местоположения горелочных устройств предложено осуществлялось следующим образом. Так как на действующей печи установлены двухпроводные горелки, то возможные варианты размещения последних определяются с учетом расстояния между нижним и верхним рядом в камере, что составляет $\Delta=0,17$ м. Поэтому на указанном расстоянии от верхнего ряда горелочных устройств, в боковых стенах печного агрегата проделывали дополнительные отверстия, куда и перемещались нижние горелки.

Выводы

1. Улучшить аэродинамику рассматриваемых нагревательных печей возможно изменением расположения таких их конструктивных элементов как горелочные устройства и окна для отвода продуктов сгорания, для чего необходимо предварительно оценить влияние мест последней установки на распределение тепловой энергии в камере.

2. Исходя из конструкции камерной нагревательной печи наиболее проблематично при проведении промышленных экспериментов по изучению влияния параметров последней на показатели ее энергоэффективности является изменение мест расположения вытяжных окон, т.к. это предусматривает перестановку каналов для дымовых газов в стенах, а фактически – их многократную перекладку.

3. Избежать необходимости прокладки новых каналов для отвода дымовых газов в стенах печи при изучении спектра влияния мест расположения вытяжных окон на энергоэффективность последней возможно в случае использования специального устройства телескопического типа, позволяющего создавать дополнительные каналы между реальным и необходимым расположением окон и кратчайшему пути и под любым углом наклона относительно основания печи.

Литература

1. Качан Ю.Г. Количественная оценка энергоэффективности камерных печей с выкатным подом/ Ю. Г. Качан, В.Л. Коваленко, Ю. Б. Спекторова. – Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. Хмельницький, – 2012. - С. 66-69.
2. Губинский В.И. Металлургические печи / В.И. Губинский. – Днепропетровск: НМетАУ, 2006. – 85 с.

Rererences

1. Kachan Yu. G., Kovalenko V.L., Spektorova Yu. B. Kolychestvennaia otsenka enerhoeffektyvnosti kamernykh pechei s vykatnym podom. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. Khmelnytskyi, - 2012. С. 66–69.[in Russian]
2. Gubynskiy V.Y. Metallurhicheskye pechy. Dnepropetrovsk, NMetAU, 2006. – 85 c.[in Russian]

Рецензія/Peer review : 2.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією



ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ НИТКИ З НАПРЯМНИМИ З УРАХУВАННЯМ АНІЗОТРОПІЇ ФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

В роботі наведені результати по визначенню натягу нитки, яка взаємодіє з напрямною поверхнею з урахуванням анізотропії сили тертя як самої нитки так і напрямної поверхні. При проведенні досліджень використовувалися циліндричні напрямні поверхні великої та малої кривизни, плоскі напрямні. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів текстильної промисловості.

Ключові слова: нитка, напрямна поверхня, радіус кривизни, натяг.

V.YU. SHERBAN, M.I. SHOLUDKO, O.Z. KOLISKO, V.YU. KALASHNIK

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

OPTIMIZATION OF PROCESS OF INTERACTION OF THE THREAD WITH DIRECTING TAKING INTO ACCOUNT ANISOTROPY OF FRICTIONAL PROPERTIES

Abstract - Longitudinal and cross-section sliding of threads on directing with constant curvature of a surface or on a plane takes place at formation of an element of a fabric and jersey, at interaction of threads with directing bodies of sewing and textile cars. Definition of a tension and the axis form, taking into account anisotropy of frictional properties as threads and directing, allows to select their optimum parameters at the initial stage of designing of technological processes. Thus, the theme of given article is actual which has great value for improvement of technological processes of the textile and knitted industry.

Objects and research methods. Improvement of technological processes of the easy and textile industry as objects of research, should be based on complex researches of process of interaction of threads with directing surfaces of the big and small curvature, planes taking into account anisotropy of frictional properties as threads and directing. The received results will allow to optimise process of interaction of threads with directing taking into account anisotropy of frictional properties as threads and directing in a zone of formation of a fabric and jersey, to reduce percent of breakages of threads, to improve quality of finished goods. Problem statement. To optimise process of interaction of a thread with directing surfaces of the big and small curvature, planes taking into account anisotropy of frictional properties as threads and directing.

The basic dependences for optimisation of process of interaction of a thread with directing from the point of view of minimisation of size of energies of a friction are defined. It has allowed to define the form of its axis and its tension in any point, to improve process of its processing on the process equipment of the textile and knitted industry.

The greatest tension will be had by threads with the greatest value of effective factor of a friction. The real tension, on the average, at anisotropic threads in comparison with isotropic will be more on 20-30 %.

Keywords: filament, directing a surface, curvature radius, tension.

Вступ

Подовжнє і поперечне ковзання ниток по напрямних з постійною кривизною поверхні або по площині має місце при формуванні елементу тканини і трикотажу, при взаємодії ниток з направляючими органами швейних і текстильних машин [1-3]. Визначення натягу і форми осі, з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей як ниток [3] так і напрямних, дозволяє на початковому етапі проектування технологічних процесів вибрати їх оптимальні параметри. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної і трикотажної промисловості.

Об'єкти і методи дослідження. Удосконалення технологічних процесів легкої і текстильної промисловості, як об'єктів дослідження, повинне базуватися на комплексних дослідженнях процесу взаємодії ниток з направляючими поверхнями великої і малої кривизни [2], площинами з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей як ниток так і напрямних. Отримані результати дозволять оптимізувати процес взаємодії ниток з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей як ниток так і напрямних в зоні формування тканини і трикотажу, зменшити відсоток обривів ниток, поліпшити якість готової продукції.

Постановка завдання

Оптимізувати процес взаємодії нитки з направляючими поверхнями великої і малої кривизни, площинами з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей як ниток так і напрямних.

Основна частина

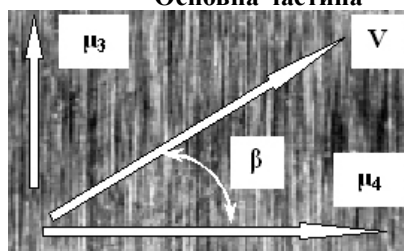


Рис.1. Анізотропія фрикційних властивостей напрямної

Будова поверхонь робочих органів трикотажних і текстильних машин (рис.1), а також самих ниток

(рис.2) свідчать про те, що величина сили тертя в ортогональних напрямках (наприклад дотичній і нормалі до точки на осі нитки) відрізнятимуться. Це дозволяє говорити про необхідність врахування анізотропії фрикційних властивостей.

У загальному випадку величина сили тертя визначається з виразу [3]

$$F = N \sqrt{k_1^2 + k_2^2}, \quad (1)$$

де F - сила тертя; N - сила нормального тиску; $k = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$ - ефективний коефіцієнт тертя [1].

Для двох ортогональних напрямів (дотична і нормаль) вираз ефективного коефіцієнта тертя матиме вигляд

$$k = \sqrt{k_1^2 + k_2^2} = \sqrt{m_2^2 \cos^2 b + m_1^2 \sin^2 b}. \quad (2)$$

де m_1, m_2 - коефіцієнти тертя нитки в двох ортогональних напрямках; b - кут, який утворює вектор швидкості з дотичної до осі нитки.

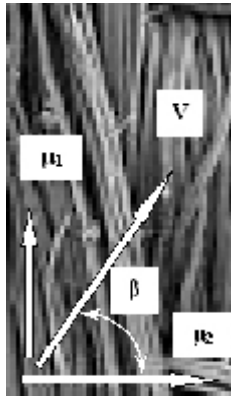


Рис.2. Анізотропія фрикційних властивостей нитки

Для теоретичного дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на натяг і форму її осі були вибрані комплексні нитки та пряжа (рис.2), які мають значну анізотропію фрикційних властивостей в двох ортогональних напрямках – вздовж окремих філаментів та перпендікулярно до них.

Знайдемо похідну від ефективного коефіцієнта тертя по куту b та прирівняємо її нулю

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial b} \left(\frac{F}{N} \right) &= \frac{\partial}{\partial b} \left(\sqrt{m_2^2 \cos^2 b + m_1^2 \sin^2 b} \right) = \\ &= \frac{-m_2^2 \cos b \sin b + m_1^2 \cos b \sin b}{\sqrt{m_2^2 \cos^2 b + m_1^2 \sin^2 b}} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Це рівняння буде можливим у двох випадках

$$\sin b = 0, \quad b = 0, \quad \cos b = 0, \quad b = p/2.$$

Знайдемо другу похідну, для чього рівняння (3) ще раз продиференціюємо по b

$$\frac{\partial^2}{\partial b^2} \left(\frac{F}{N} \right) = \frac{-(m_2^2 \cos b \sin b - m_1^2 \cos b \sin b)^2}{(m_2^2 \cos^2 b + m_1^2 \sin^2 b)^{3/2}} - \frac{m_2^2 \cos^2 b - m_2^2 \sin^2 b - m_1^2 \cos^2 b + m_1^2 \sin^2 b}{\sqrt{m_2^2 \cos^2 b + m_1^2 \sin^2 b}}. \quad (4)$$

В характерних точках $b = 0$, $b = p/2$ значення других похідних наведено в системі рівнянь (5). У випадку $b = 0$ ефективний коефіцієнт тертя буде мати своє максимальне значення, а у випадку $b = p/2$ - мінімальне значення.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial b^2} \left(\frac{F}{N} \right) &= \frac{m_2^2 - m_1^2}{m_1}, \quad b = \frac{p}{2}, \quad \frac{\partial^2}{\partial b^2} \left(\frac{F}{N} \right) = \frac{-m_2^2 + m_1^2}{m_2}, \quad b = 0, \quad m_2 > m_1, \\ b = 0 &\rightarrow \frac{\partial^2}{\partial b^2} \left(\frac{F}{N} \right) < 0 \rightarrow \max, \quad b = \frac{p}{2} \rightarrow \frac{\partial^2}{\partial b^2} \left(\frac{F}{N} \right) > 0 \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (5)$$

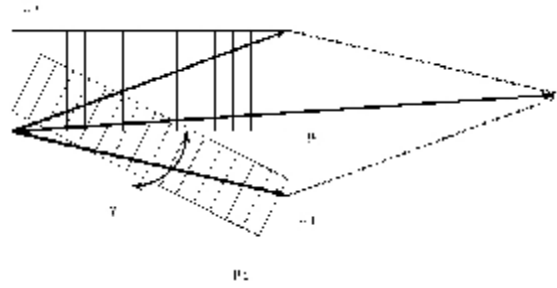


Рис.3. Розрахункова схема

В загальному випадку, враховуючи структуру направляючої (рис.1) та самої нитки (рис.2), анізотропія фрикційних властивостей може бути представленою системою нерівностей $m_1 > m_2$, $m_3 > m_4$.

У разі, коли $m_1 = m_2$, $m_3 = m_4$ фрикційні властивості направляючої поверхні та нитки рахуються як для ізотропних об'єктів. На рисунку 3 представлена загальна розрахункова схема взаємодії двох поверхонь з анізотропними фрикційними властивостями. Два прямокутники, діагоналі яких представляють собою ефективні коефіцієнти тертя (з кутами відхилення діагоналей від горизонталі $b_{12} = \arctg(m_2 / m_1)$, $b_{34} = \arctg(m_4 / m_3)$), в загальному випадку будемо рахувати повернутими один відносно другого на кут g . Тоді значення ефективного коефіцієнта тертя для цієї пари можна визначи по формулі

$$k = \sqrt{(m_3 \cos g + m_4 \sin g + m_1)^2 \cos^2 b + \{m_2 - [m_3 \sin(g + p) - m_4 \cos g]\}^2 \sin b}. \quad (6)$$

Для направляючої поверхні коефіцієнт тертя в напрямі найменшого супротиву руху позначимо u , який характеризує ефект від супротиву зсуву у цьому напрямку. Враховуючи, що $m_3 > m_4$ отримаємо

$$m_4 = u, \quad m_3 = au, \quad a > 1, \quad \frac{m_3}{m_4} = a, \quad m_3 = am_4.$$

Тоді рівняння (6) прийме вигляд

$$k = \sqrt{(au \cos g + u \sin g + m_1)^2 \cos^2 b + \{m_2 - [au \sin(g + p) - u \cos g]\}^2 \sin b}. \quad (7)$$

Коли прямокутники не повернуті один відносно другого, при $g = 0$, рівняння (7) прийме вигляд

$$k = \sqrt{(au + m_1)^2 \cos^2 b + (m_2 + u)^2 \sin b}. \quad (8)$$

У випадку, коли $g = \frac{p}{2}$, рівняння (8) прийме вигляд

$$k = \sqrt{(u + m_1)^2 \cos^2 b + (m_2 + au)^2 \sin b}. \quad (9)$$

Для ізотропної направляючої поверхні, при $a = 1$, рівняння (9) прийме вигляд

$$k = \sqrt{(u + m_1)^2 \cos^2 b + (m_2 + u)^2 \sin b}. \quad (10)$$

Аналіз рівнянь (6-10) дозволяє зробити висновок, що враховуючи фрикційні властивості напрямної і самої нитки, а також напрям їх відносного переміщення, який характеризується кутом b , можна отримати найбільш оптимальну схему, при якій супротив відносного зсуву нитки відносно напрямної буде мінімальним. На рисунку 4 представлені відповідні діаграми ефективного коефіцієнта тертя k . Результати були отримані для слідуючих варіантів: 1 - $b = 0$, $g = 0$, $k = 0,6$; 2 - $b = 0$, $g = p/2$, $k = 0,5$; 3 - $b = p/2$, $g = 0$, $k = 0,2$; 4 - $b = p/2$, $g = p/2$, $k = 0,3$. Аналіз отриманих результатів показав, що значення ефективного коефіцієнта тертя (варіант 1) в три рази вище ніж у випадку, коли $b = p/2$, $g = 0$, $k = 0,2$ (варіант 3).



Рис.4. Значення ефективного коефіцієнту тертя

Виходячи з цього необхідно при виконанні розрахунків натягу нитки, та визначення форми її вісі враховувати значення ефективного коефіцієнту тертя та підбирати відповідні параметри таким чином, щоб отримати мінімальне значення сили тертя.

У випадку руху нитки по поверхні циліндра $b = 0$, $g = 0$ залежність для визначення натягу буде мати вираз [2]

$$\ln P = \ln P_0 + \frac{a j^{1-n_1}}{b(1-n_1)} \left(\frac{R}{P_0} \right)^{1-n} [\ln R(1-n) + 1] / \left[1 + \frac{(1-n)a j^{1-n_1}}{b(1-n_1)} \left(\frac{R}{P_0} \right)^{1-n} \right], P = P_0 e^{k j \left(\frac{R}{P_0} \right)^{1-n}}$$

де P – вихідний натяг нитки; P_0 – вхідний натяг нитки; R – радіус циліндричної напрямної; j – кут охоплення ниткою циліндричної напрямної; n, a, b, n_1 – деякі константи, значення яких залежить від виду матеріалів нитки та напрямної та умов взаємодії між ними.

$$\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{m_1}{2m_2} - 1} \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{m_2 m_0^2 g}{P_0}.$$

У випадку руху нитки по поверхні деякої площини $b \neq 0$, $g \neq 0$ було отримано диференціальне рівняння, яке представляє диференціальне рівняння другого порядку і визначає собою форму осі нитки при поперечному ковзанні з урахуванням анізотропії тертя [3]

Висновки

Визначені основні залежності для оптимізації процесу взаємодії нитки з напрямними з погляду мінімізації величини сили тертя. Це дозволило визначити форму осі нитки і її натяг у довільній точці, удосконалити процес її переробки на технологічному устаткуванні текстильної і трикотажної промисловості.

Найбільший натяг матимуть нитки з найбільшим значенням ефективного коефіцієнта тертя. Реальний натяг, в середньому, у анізотропних ниток в порівнянні з ізотропними буде більше на 20–30%.

Література

1. Щербань В.Ю. Механика нити / В.Ю.Щербань, О.Н.Хомяк, Ю.Ю.Щербань. – К.:Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.
2. Колиско М.І. Дослідження взаємодії нитки з циліндричною напрямною / М.І.Колиско, В.Ю.Щербань // Вісник КНУТД. – 2013. – №5. – С.44-47.
3. 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. Технічні науки. – 2013. – №1. – С.57–60.

References

1. Scherban V.Yu. Mechanics of filaments/V.Yu.Sherban, O.N.Khomyak, Yu.Yu.Scherban. -K.:Library of official editions, 2002.- 196 c.[in Russian]
2. Kolisko M.I. Research of interaction of filament is with the cylinder sending / M.I.Kolisko, V.Yu.Sherban//Announcer KNUTD. - 2013. – N5.- S.44 - 47.[in Ukrainian]
3. Kalashnik V.Yu. Research of the transversal sliding of filament on the sending surface of small curvature taking into account the anisotropy of friction/V.Yu.Kalashnik, V.Yu.Sherban//Announcer HNU. -2013.-№1.-S.57-60.[in Russian]

Рецензія/Peer review : 4.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

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

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВИХ ТОЧОК ЧЕБИШЕВА ДЛЯ СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ

В роботі розглядається питання синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів методами кінематичної геометрії. В шатунній площині важільних механізмів існують певні особливі точки, використання яких дозволяє отримати шатунні криві з ділянками наближено постійної кривизни, що дозволяє синтезувати кругові та прямолінійно-напрямні механізми, а на їх основі – механізми із зупинкою вихідної ланки. Однією з таких особливих точок є точка Чебишева. Розроблено аналітично-числову методику визначення таких точок, що може бути використана для проведення синтезу таких механізмів за різними критеріями.

Ключові слова: важільні механізми, напрямні механізми, точки Чебишева, зупинка.

V.O. KHARZHEVSKYI

Khmelnytskyi National University

THE METHOD OF DETERMINATION OF THE CHEBYSHEV'S POINTS FOR THE SYNTHESIS OF THE LINKAGE STRAIGHT-LINE MECHANISMS

Abstract – The article is dedicated to the synthesis of the linkage path generating mechanisms which could trace a straight line by a coupler point. These mechanisms have their own wide application in machine building and can be used for the synthesis of the dwell mechanisms.

For the synthesis of the linkage path generating mechanisms methods of kinematic geometry can be applied. It is known that for the synthesis of such mechanisms special coupler plane points can be found. These points are – cubic of stationary curvature points, inflection points and, in particular – Ball's points, Burmester's points and Chebyshev's points. This article deals with the synthesis procedure of such mechanisms using Chebyshev's points: it is an important practical task to find such points for the given values of the length of the links of basic four-bar linkage. To solve this task, combined analytical and numerical method was developed.

Determination of the Chebyshev's points enables to find a wide range of straight-line linkage mechanisms with 4-th order of tangency. It provides to designer a wide range of mechanisms which can be used as a path generators and dwell mechanisms.

Keywords: linkages, path generators, Chebyshev's points, dwell.

Важільні прямолінійно-напрямні механізми та побудовані на їх основі циклові механізми із зупинкою вихідної ланки мають широке практичне використання при проектуванні сучасних вітчизняних та зарубіжних машин, про що свідчить багато прикладів їх практичного впровадження в різних галузях машинобудування. Такі механізми мають ряд переваг перед аналогічними механізмами, зокрема кулачковими, внаслідок відсутності вищих кінематичних пар у своєму складі. Однак проблема більш широкого впровадження важільних механізмів на практиці полягає у досить складній процедурі їх синтезу.

Останнім часом, у зв'язку зі стрімким розвитком комп'ютерних технологій, з'явилась можливість розв'язувати такі задачі чисельно, розробляючи для цього комбіновані аналітично-числові методи. Це дає можливість проводити багатокритеріальний синтез та оптимізацію таких механізмів за різними критеріями, а також визначити межі існування таких механізмів, що дозволяє конструктору у зручній формі отримати інформацію щодо характеристик проєктованих механізмів.

Як відомо, всі методи синтезу важільних напрямних механізмів та побудованих на їх основі механізмів із зупинкою вихідної ланки можна розділити на 2 групи – алгебраїчні методи П.Л. Чебишева [3,5,8], в яких використовується теорія функцій, що найменше відхиляються від нуля, а також методи кінематичної геометрії, започатковані німецьким вченим Л. Бурместером [7]. В даній роботі ми будемо використовувати методи кінематичної геометрії, теоретичні основи якої були закладені вченими німецької школи теорії синтезу механізмів – Л. Бурместером [7], Р. Мюллером [10], Р. Бейером [1], В. Ліхтенхельдтом [4]. Детальний огляд сучасних методів синтезу важільних механізмів, зокрема прямолінійно-напрямних, наведено у роботах [9,12].

Відповідно до методів кінематичної геометрії, для синтезу напрямних механізмів можуть бути використані особливі точки шатунної площини, які характеризуються тим, що не тільки знаходяться на шатунній кривій механізму, але й мають в цій точці рівні похідні з дотичним кругом кривизни до n -го порядку включно. Це визначає умову дотику n -го порядку з кругом кривизни або дотичною прямою.

Характерним випадком у проєктуванні прямолінійно-напрямних механізмів методами кінематичної геометрії є використання точок Болла, що забезпечують дотик 3-го порядку зі своєю дотичною [1,2,6]. Однак для проєктування таких механізмів можуть бути використані також точки Чебишева, що є частковим випадком точок Болла і забезпечують дотик 4-го порядку [2, 11]. На відміну від точок Болла, які існують в кожному положенні шатунної площини (за винятком двох – у нескінченності), точки Чебишева існують лише в деяких з них. В роботах [1,2,10] наведені теоретичні умови існування точок Чебишева, а дослідженню прямолінійно-напрямних механізмів на базі точок Чебишева присвячена, зокрема, робота Відовіча та Тесара [11], але наведена в ній методика має суттєві недоліки, зокрема: 1) визначення розмірів проводиться за діаграмами механізмів точок Чебишева відповідно до заданої довжини та точності прямолінійної ділянки, але на практиці прямолінійна ділянка зазвичай не збігається з теоретичною і

продовжується далі з іншою точністю (що для практики має суттєве значення); 2) неможливо правильно синтезувати механізм із заданою величиною зупинки вихідної ланки, оскільки величина зупинки буде не менше наперед заданої, але не обов'язково рівна їй; 3) наведені результати (діаграми) не передбачають випадку синтезу за наперед заданими розмірами базового механізму; 4) діаграми містять однакові, але масштабовані по всім параметрам кінематичні схеми механізмів.

Таким чином, метою даної роботи є розробка універсального аналітично-числового методу для визначення положення точок Чебишева в шатунній площині важільних механізмів, що дозволяє проводити проектування прямолінійно-напрямних та побудованих на їх основі механізмів із зупинкою вихідної ланки.

Розглянемо важільний прямолінійно-напрямний механізм, на базі якого можна побудувати механізм із зупинкою вихідної ланки (рис. 1). Механізм працює наступним чином: до кривошипа OA приєднано діаду $AB-BC$ 2-го класу 1-го виду (за класифікацією Ассура-Артоболевського), шатунна точка D якої описує шатунну криву, що на певній ділянці має наближено-прямолінійну ділянку. Під час проходження точкою D цієї ділянки, вихідна ланка приєднаної групи 5-го виду (та її точка E) буде мати наближений вистій в одному з крайніх положень. Питання полягає у методі вибору положення точки у шатунній площині, яка б забезпечувала дотик якомога більш високого порядку, що теоретично має забезпечувати триваліші ділянки наближення.

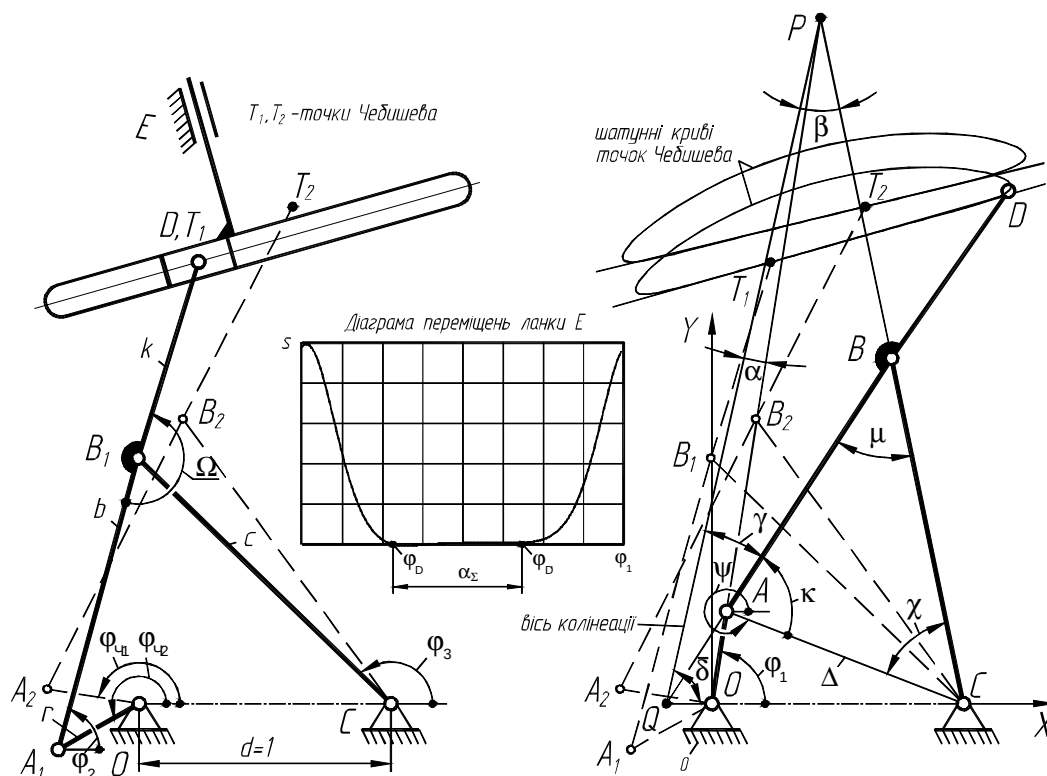


Рис. 1. Використання точок Чебишева для синтезу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки

Один із засновників теорії кінематичної геометрії нескінченно близьких положень плоскої фігури, німецький вчений Рейнгольд Мюллер розробив ряд математичних методів синтезу важільних напрямних механізмів, зокрема, з дотиками високих порядків (від 3-го до 5-го). Так, саме Мюллером вперше розроблена методика визначення точок Бурместера для шатунної площини, в яких спостерігається дотик 4-го порядку з кругом кривизни. Для того, щоби мати можливість систематично вивчати питання, пов'язані з дотиком 3-го порядку кривої з дотичною або кругом кривизни, Мюллер розглядав чотири нескінченно близьких положень плоскої фігури, та, продовжуючи ці дослідження, розглядав рух через п'ять нескінченно близьких положень. Для цього Мюллером була розроблена спеціальна теорія полюсів повороту та полюсів звороту вищих порядків [1, 10]. Для координат полюсів повороту та полюсів звороту ним були виведені рекурентні формули, якщо рух задається за допомогою центроїд. Зокрема, для плоского шарнірного чотириланкового механізму ним були визначено умову того, щоби в положенні системи, що розглядається, траєкторія деякої точки шатунної площини (рулеті) мала б з дотичною прямою дотик 4-го порядку. Я. Геронімус у роботі [2] називав такі особливі точки точками Чебишева. Відповідно до Мюллера [1,10], має виконуватись наступна умова (рис. 1):

$$2\operatorname{ctg} \bar{\delta} = \operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \gamma (1 + \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{ctg} \beta). \quad (1)$$

Проте ця умова не дозволяє провести визначення положення точок Чебишева у шатунній площині механізму, а лише показує умову, яка буде виконуватись при теоретичному існуванні точок Чебишева в даному положенні механізму. Далі ми розглянемо розроблену аналітично-числову методику визначення точок Чебишева, а умову (1) будемо використовувати для графічної перевірки правильності отриманих результатів.

Методику визначення положення точок Чебишева у шатунній площині розглянемо на прикладі шарнірного чотириланкового механізму. Оскільки, як було вже зазначено, точка Чебишева характеризується рівністю перших чотирьох похідних шатунної кривої та дотичної прямої в даній точці, ця умова, очевидно, може бути записана як рівність перших двох похідних від кривизни шатунної кривої (кривизна шатунної кривої виражається через другу похідну від переміщень шатунної точки). Зокрема, як зазначено у [2], умовами наявності точки Чебишева в шатунній площині буде:

$$K = 0; K' = \frac{dK}{d\varphi_1} = 0; K'' = \frac{d^2K}{d\varphi_1^2} = 0. \quad (2)$$

Кривизна шатунної кривої, як відомо, визначається за формулою:

$$K = \frac{x_D' y_D'' - x_D'' y_D'}{\sqrt{[x_D'^2 + y_D'^2]^3}}. \quad (3)$$

Умова $K = 0$ забезпечить наявність точки розпрямлення (перегину) кривої, тобто виродження круга кривизни у дотичну пряму. Перша похідна від кривизни шатунної кривої механізму:

$$K' = \frac{dK}{d\varphi_1} = \frac{x_D' y_D''' - x_D''' y_D'}{\sqrt{[x_D'^2 + y_D'^2]^3}} - \frac{3(x_D' y_D'' - x_D'' y_D')(x_D' x_D'' + y_D' y_D'')}{\sqrt{[x_D'^2 + y_D'^2]^5}}. \quad (4)$$

Умова $K' = 0$ забезпечить виконання умови дотику не нижче 3-го порядку зі своїм кругом кривизни або дотичною лінією (забезпечить умову знаходження точки на кривій Бурместера – кривій кругових точок). Як відомо [2], одночасне виконання умов $K = K' = 0$ визначає точку Болла.

Друга похідна від кривизни шатунної кривої $K'' = d^2K/d\varphi_1^2$:

$$K'' = \frac{x_D' y_D^{IV} - x_D^{IV} y_D'}{\sqrt{[x_D'^2 + y_D'^2]^3}} - \frac{3(x_D' y_D''' - x_D''' y_D')(x_D' x_D'' + y_D' y_D'')}{\sqrt{[x_D'^2 + y_D'^2]^5}} - \frac{3(x_D' y_D'' - x_D'' y_D')(x_D' x_D'' + y_D' y_D'')}{\sqrt{[x_D'^2 + y_D'^2]^5}} \times$$

$$\times \left[\frac{x_D''^2 + y_D''^2 + x_D' x_D''' + y_D' y_D'''}{x_D' x_D'' + y_D' y_D''} + \frac{x_D' y_D''' - x_D''' y_D'}{(x_D' x_D'' + y_D' y_D'')(x_D'^2 + y_D'^2)} \right]; \quad (5)$$

Як видно з наведених формул (3)-(5), для визначення точок Чебишева необхідно визначити похідні від переміщень шатунної точки D механізму до 4-го порядку включно.

Визначимо координати точки A кривошипа та перші чотири похідні від кута φ_1 , що є параметром та однозначно визначає його положення ($0 \leq \varphi_1 \leq 2\pi$):

$$x_A = r \cos \varphi_1; x_A' = -r \sin \varphi_1; x_A'' = r \sin \varphi_1; x_A''' = r \cos \varphi_1; x_A^{IV} = -r \sin \varphi_1; \\ y_A = r \sin \varphi_1; y_A' = r \cos \varphi_1; y_A'' = -r \sin \varphi_1; y_A''' = r \cos \varphi_1; y_A^{IV} = -r \sin \varphi_1. \quad (6)$$

Визначимо величину допоміжної лінії Δ , кута δ та кута передачі μ :

$$\Delta = \sqrt{(d - x_A)^2 + y_A^2}; \mu = \arccos \left(\frac{b^2 + c^2 - \Delta^2}{2bc} \right); \delta = \arccos \left(\frac{b^2 + \Delta^2 - c^2}{2b \cdot \Delta} \right); \quad (7)$$

Визначимо величину кутів φ_2 та φ_3 , що визначають положення шатуна та коромисла:

$$\varphi_2 = \psi + \delta; \varphi_3 = \psi - \kappa + \pi,$$

де

$$\kappa = \pi - \delta - \mu; \psi = \arctg(d - x_A / y_A). \quad (8)$$

Переміщення точки B механізму визначаємо наступним чином:

$$x_B = x_A + b \cos \varphi_2; y_B = y_A + b \sin \varphi_2. \quad (9)$$

Координати шатунної точки D визначаємо за аналогічними формулами (як додаткову точку шатуна):

$$x_D = x_B + k \cos(\varphi_2 + \Omega - \pi); y_D = y_B + k \sin(\varphi_2 + \Omega - \pi). \quad (10)$$

Перша та друга похідні від кутів φ_2 та φ_3 :

$$\varphi_2' = \frac{x_A' \cos \varphi_3 + y_A' \sin \varphi_3}{b \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}; \varphi_3' = \frac{-x_A' \cos \varphi_2 - y_A' \sin \varphi_2}{c \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}; \quad (11)$$

$$\varphi_2'' = \frac{x_A'' \cos \varphi_3 + y_A'' \sin \varphi_3 - b(\varphi_2')^2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) + c(\varphi_3')^2}{b \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}; \quad (12)$$

$$\varphi_3'' = \frac{-x_A'' \cos \varphi_2 - y_A'' \sin \varphi_2 - c(\varphi_2')^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) + b(\varphi_2')^2}{c \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}; \quad (13)$$

Для визначення похідних високих порядків (до четвертих включно) від переміщень шатунної точки D механізму, необхідно, зокрема, визначити третю та четверту похідні від кутів φ_2 та φ_3 , що визначають положення ланок механізму:

$$\varphi_2''' = \frac{d^3 \varphi_2}{d\varphi_1^3}, \varphi_3''' = \frac{d^3 \varphi_3}{d\varphi_1^3}, \varphi_2^{IV} = \frac{d^4 \varphi_2}{d\varphi_1^4}, \varphi_3^{IV} = \frac{d^4 \varphi_3}{d\varphi_1^4}. \quad (14)$$

Очевидно, що пряме обчислення похідних цих величин, записаних у формі (12), (13) не є доцільним, оскільки в цьому випадку отримаємо досить громіздкий розв'язок (про що свідчать результати проведених розрахунків за допомогою символічного процесору системи Mathcad). Для спрощення розрахунків, зробимо заміну у такому вигляді:

$$\varphi_2'' = A + B - C + D; \quad \varphi_3'' = F_1 + F_2 + F_3 - F_4, \quad (15)$$

де, пропускаючи проміжні перетворення, замінюючи коефіцієнти можна записати таким чином:

$$A = \frac{x_A'' \cos \varphi_3}{b \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}; \quad B = A \operatorname{tg} \varphi_3 \operatorname{tg} \varphi_1; \quad C = \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3) \varphi_2'^2; \quad D = \frac{c \varphi_3'^2}{b \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}; \quad (16)$$

$$F_1 = \frac{b \cos \varphi_2}{c \cos \varphi_3} A; \quad F_2 = \frac{B}{A} \operatorname{ctg} \varphi_3 \operatorname{tg} \varphi_2 F_1; \quad F_3 = \left(\frac{\varphi_3'}{\varphi_2'} \right)^2 C; \quad F_4 = D \left(\frac{b \varphi_2'}{c \varphi_3'} \right)^2; \quad (17)$$

Вираз для обчислення третьої похідної від кута φ_2 тоді запишеться таким чином:

$$\varphi_2''' = A' + B' - C' + D', \quad (18)$$

похідні від коефіцієнтів A, B, C, D визначаються як $A' = \frac{dA}{d\varphi_1}, B' = \frac{dB}{d\varphi_1}, C' = \frac{dC}{d\varphi_1}, D' = \frac{dD}{d\varphi_1}$:

$$A' = -A(\operatorname{tg} \varphi_1 + \varphi_3' \operatorname{tg} \varphi_3 + \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3)(\varphi_2' - \varphi_3')); \quad B' = \frac{A'B}{A} + \frac{2B}{\sin 2\varphi_1} + \frac{2\varphi_3' B}{\sin 2\varphi_3}; \quad (19)$$

$$C' = \left[\frac{2\varphi_2''}{\varphi_2'} + \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3)(\varphi_2' - \varphi_3') \right] C + \varphi_2'^2 (\varphi_2' - \varphi_3'); \quad D' = \left[\frac{2\varphi_2''}{\varphi_2'} - \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3)(\varphi_2' - \varphi_3') \right] D; \quad (20)$$

Третю похідну від кута φ_3 , що визначає положення коромисла, можна записати наступним чином:

$$\varphi_3''' = F_1' + F_2' + F_3' - F_4', \quad (21)$$

де відповідні похідні від коефіцієнтів F_1, F_2, F_3, F_4 :

$$F_1' = \left(\frac{A'}{A} - \varphi_2' \operatorname{tg} \varphi_2 + \varphi_3' \operatorname{tg} \varphi_3 \right) F_1; \quad F_2' = \left(\frac{F_1'}{F_1} + \frac{B'}{B} - \frac{A'}{A} + \frac{2\varphi_2'}{\sin 2\varphi_2} - \frac{2\varphi_3'}{\sin 2\varphi_3} \right) F_2; \\ F_3' = \left(\frac{C'}{C} - \frac{2\varphi_2''}{\varphi_2'} + \frac{2\varphi_3''}{\varphi_3'} \right) F_3; \quad F_4' = \left(\frac{D'}{D} - \frac{2\varphi_3''}{\varphi_3'} + \frac{2\varphi_2''}{\varphi_2'} \right) F_4; \quad (22)$$

Четверта похідна від кута φ_2 , що визначає положення шатуна b механізму:

$$\varphi_2^{IV} = A'' + B'' - C'' + D''; \quad (23)$$

Запишемо вирази для обчислення відповідних похідних:

$$A'' = A \left[(\varphi_2' - \varphi_3')^2 - \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3)(\varphi_2'' - \varphi_3'') + (\operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3))^2 (\varphi_2' - \varphi_3')^2 - \left(\frac{\varphi_3'}{\cos \varphi_3} \right)^2 - \operatorname{tg}^2 \varphi_1 - 1 \right] - \\ - A' [\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3)(\varphi_2' - \varphi_3')] - \operatorname{tg} \varphi_3 (A \varphi_3'' + A' \varphi_3'); \quad (24)$$

$$B'' = \frac{A'B' + A''B}{A} - \frac{A'^2 B}{A^2} + \frac{2B' - 4B \cdot \operatorname{ctg}(2\varphi_1)}{\sin(2\varphi_1)} + \frac{2B\varphi_3'' + 2B'\varphi_3' - 4B\varphi_2'^2 \operatorname{ctg}(2\varphi_3)}{\sin(2\varphi_3)}; \quad (25)$$

$$C'' = C_1 \left(\frac{\varphi_2'''}{\varphi_2''} + \frac{C'}{C} \right) - C \left(2 \left(\frac{\varphi_2''}{\varphi_2'} \right)^2 - \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3) (\varphi_2'' - \varphi_3'') + \frac{(\varphi_2' - \varphi_3')^2}{\sin^2(\varphi_2 - \varphi_3)} \right) - C' \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3) (\varphi_2' - \varphi_3'); \quad (26)$$

$$D'' = 2 \left[\frac{D\varphi_3''' + D'\varphi_3''}{\varphi_3'} - D \left(\frac{\varphi_3''}{\varphi_3'} \right)^2 \right] + D \left(\frac{\varphi_2' - \varphi_3'}{\sin(\varphi_2 - \varphi_3)} \right)^2 - D \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \varphi_3) (\varphi_2' - \varphi_3') \left(\frac{\varphi_2'' - \varphi_3''}{\varphi_2' - \varphi_3'} + \frac{D'}{D} \right); \quad (27)$$

Четверта похідна від кута φ_3 , що визначає положення коромисла c механізму:

$$\varphi_3^{IV} = F_1'' + F_2'' + F_3'' - F_4''; \quad (28)$$

де $F_1'' = \frac{d^2 F_1}{d\varphi_1^2}; F_2'' = \frac{d^2 F_2}{d\varphi_1^2}; F_3'' = \frac{d^2 F_3}{d\varphi_1^2}; F_4'' = \frac{d^2 F_4}{d\varphi_1^2}$, які після відповідних перетворень та спрощень,

запишуться наступним чином:

$$F_1'' = \left(\frac{F_1'}{F_1} + \frac{A''}{A'} - \frac{A'}{A} \right) \left(\frac{A'}{A} F_1 \right) - \left(\frac{\varphi_2''}{\varphi_2'} + \frac{F_1'}{F_1} + \frac{2\varphi_2'}{\sin 2\varphi_2} \right) (\varphi_2' \operatorname{tg} \varphi_2 F_1) + \left(\frac{\varphi_3''}{\varphi_3'} + \frac{F_1'}{F_1} + \frac{2\varphi_3'}{\sin 2\varphi_3} \right); \quad (29)$$

$$F_2'' = \frac{F_1' F_2}{F_1} \left(\frac{F_1'}{F_1} + \frac{F_2'}{F_2} - \frac{F_1'}{F_1} \right) + \frac{B' F_2}{B} \left(\frac{F_2'}{F_2} + \frac{B''}{B'} - \frac{B'}{B} \right) - \frac{A' F_2}{A} \left(\frac{F_2'}{F_2} + \frac{A''}{A'} - \frac{A'}{A} \right) + \frac{2\varphi_2' F_2}{\sin 2\varphi_2} \left(\frac{\varphi_2''}{\varphi_2'} + \frac{F_2'}{F_2} - 2\varphi_2' \operatorname{ctg} 2\varphi_2 \right) - \frac{2\varphi_3' F_2}{\sin 2\varphi_3} \left(\frac{\varphi_3''}{\varphi_3'} + \frac{F_2'}{F_2} - 2\varphi_3' \operatorname{ctg} 2\varphi_3 \right); \quad (30)$$

$$F_3'' = \frac{C' F_3}{C} \left(\frac{F_3'}{F_3} + \frac{C''}{C'} - \frac{C'}{C} \right) - \frac{2\varphi_2' F_3}{\varphi_2'} \left(\frac{\varphi_2''}{\varphi_2'} + \frac{F_3'}{F_3} - \frac{\varphi_2''}{\varphi_2'} \right) + \frac{2\varphi_3' F_3}{\varphi_3'} \left(\frac{\varphi_3''}{\varphi_3'} + \frac{F_3'}{F_3} - \frac{\varphi_3''}{\varphi_3'} \right); \quad (31)$$

$$F_4'' = \frac{D' F_4}{D} \left(\frac{F_4'}{F_4} + \frac{D''}{D'} - \frac{D'}{D} \right) - \frac{2\varphi_3' F_4}{\varphi_3'} \left(\frac{\varphi_3''}{\varphi_3'} + \frac{F_4'}{F_4} - \frac{\varphi_3''}{\varphi_3'} \right) + \frac{2\varphi_2' F_4}{\varphi_2'} \left(\frac{\varphi_2''}{\varphi_2'} + \frac{F_4'}{F_4} - \frac{\varphi_2''}{\varphi_2'} \right); \quad (32)$$

Швидкості, прискорення та похідні високих порядків точки B механізму:

$$x_B' = x_A' - b\varphi_2' \sin \varphi_2; y_B' = y_A' + b\varphi_2' \cos \varphi_2; \quad (33)$$

$$x_B'' = x_A'' - b\varphi_2'' \sin \varphi_2 - b(\varphi_2')^2 \cos \varphi_2; y_B'' = y_A'' + b\varphi_2'' \cos \varphi_2 - b(\varphi_2')^2 \sin \varphi_2; \quad (34)$$

$$x_B''' = b(\varphi_2')^3 \sin \varphi_2 - 3b\varphi_2' \varphi_2'' \cos \varphi_2 + x_A''' - b\varphi_2''' \sin \varphi_2; \quad (35)$$

$$y_B''' = y_A''' - 3b\varphi_2' \varphi_2'' \sin \varphi_2 - b(\varphi_2')^3 \cos \varphi_2 + b\varphi_2''' \cos \varphi_2; \quad (36)$$

$$x_B^{IV} = x_A^{IV} + b \cos \varphi_2 \left[(\varphi_2')^4 - 4\varphi_2' \varphi_2'' - 3(\varphi_2'')^2 \right] + b \sin \varphi_2 \left[6\varphi_2'' (\varphi_2')^2 - \varphi_2^{IV} \right]; \quad (37)$$

$$y_B^{IV} = y_A^{IV} + b \sin \varphi_2 \left[(\varphi_2')^4 - 4\varphi_2' \varphi_2'' - 3(\varphi_2'')^2 \right] - b \cos \varphi_2 \left[6\varphi_2'' (\varphi_2')^2 - \varphi_2^{IV} \right]; \quad (38)$$

Швидкості, прискорення та похідні високих порядків точки D механізму (шатунної точки):

$$x_D' = x_B' - k\varphi_2' \sin(\varphi_2 + \Omega - \pi); y_D' = y_B' + k\varphi_2' \cos(\varphi_2 + \Omega - \pi); \quad (39)$$

$$x_D'' = x_B'' - k\varphi_2'' \sin(\varphi_2 + \Omega - \pi) - k(\varphi_2')^2 \cos(\varphi_2 + \Omega - \pi); \quad (40)$$

$$y_D'' = y_B'' + k\varphi_2'' \cos(\varphi_2 + \Omega - \pi) - k(\varphi_2')^2 \sin(\varphi_2 + \Omega - \pi). \quad (41)$$

$$x_D''' = 3k\varphi_2' \varphi_2'' \cos(\varphi_2 + \Omega) + x_B''' + k \sin(\varphi_2 + \Omega) \left[\varphi_2'' - (\varphi_2')^3 \right]; \quad (42)$$

$$y_D''' = 3k\varphi_2' \varphi_2'' \sin(\varphi_2 + \Omega) + y_B''' - k \cos(\varphi_2 + \Omega) \left[\varphi_2'' - (\varphi_2')^3 \right]. \quad (43)$$

$$x_D^{IV} = x_B^{IV} - k \cos(\varphi_2 + \Omega) \left[(\varphi_2')^4 - 4\varphi_2' \varphi_2'' - 3(\varphi_2'')^2 \right] - k \sin(\varphi_2 + \Omega) \left[6\varphi_2'' (\varphi_2')^2 - \varphi_2^{IV} \right]; \quad (44)$$

$$y_D^{IV} = y_B^{IV} - k \sin(\varphi_2 + \Omega) \left[(\varphi_2')^4 - 4\varphi_2' \varphi_2'' - 3(\varphi_2'')^2 \right] + k \cos(\varphi_2 + \Omega) \left[6\varphi_2'' (\varphi_2')^2 - \varphi_2^{IV} \right]; \quad (45)$$

Слід зазначити, що в процесі виведення формул (16-46), з метою отримання більш компактних результатів використовувались відомі формули для перетворення тригонометричних виразів:

$$\begin{aligned}
 1 + \operatorname{tg}^2 x &= \frac{1}{\cos^2 x}, \operatorname{tg} x = \frac{\sin x}{\cos x}, x \neq \frac{\pi}{2}(2n+1), n \in \mathbb{Z}; \\
 1 + \operatorname{ctg}^2 x &= \frac{1}{\sin^2 x}, \operatorname{ctg} x = \frac{\cos x}{\sin x}, x \neq \pi n, n \in \mathbb{Z}; \\
 \sin x \cos x &= \frac{1}{2}(\sin(x-y) + \sin(x+y)).
 \end{aligned}
 \tag{46}$$

Таким чином, при проведенні розрахунків в розробленому програмному забезпеченні передбачено виключення з розрахунку точок, що відповідають положенням кривошипа, що кратні $\pi/2$ (оскільки розраховані значення внаслідок проведених тригонометричних перетворень прямують до нескінченності), замість них приймалися середні значення сусідніх положень. Оскільки розрахунки проводилися з досить малим кроком $\varphi_1 = 0,1^\circ$ (для 3600 положень механізмів), така заміна є досить рівноцінною.

Формули (6)-(45) дозволяють визначити в аналітичному вигляді всі величини, що входять у формулу для другої похідної по кривизні шатунної кривої $K'' = d^2 K / d\varphi_1^2$.

Враховуючи аналітичні залежності, наведені вище, послідовність визначення точок Чебишева в шатунній площині шарнірного чотириланкового механізму буде наступною:

1. Вихідними параметрами для розрахунку є параметри механізму, а саме: довжина кривошипа $r = l_{OA}$, шатуна $b = l_{AB}$, а також коромисла $c = l_{BC}$. Відстань між нерухомими шарнірами механізму прийнята за одиницю: $d = l_{OC} = 1$ (щоби уникнути синтезу однакових, але масштабованих кінематичних схем).

2. Оскільки точки Чебишева є частковим випадком точок Болла, для яких виконуються умови (2), то, використовуючи методику, викладену у [6], спочатку проводимо визначення кривої Болла для механізму із заданими розмірами ланок r, b, c : крива представляє собою геометричне місце точок, які послідовно стають точками Болла при зміні положення шатунної площини, що визначається кутом повороту кривошипа φ_1 .

3. За формулою (5) проводимо розрахунок другої похідної від кривизни шатунної кривої K'' для механізмів кривої Болла. Приклад результатів проведеного розрахунку для механізмів із заданими довжинами шатуна b та коромисла c наведено на рисунку 2. Зазначимо, що на даній діаграмі показані значення K'' в діапазоні $-10 \leq K'' < 10$, оскільки в першу чергу нас цікавлять механізми, для яких виконується умова $K'' = 0$.

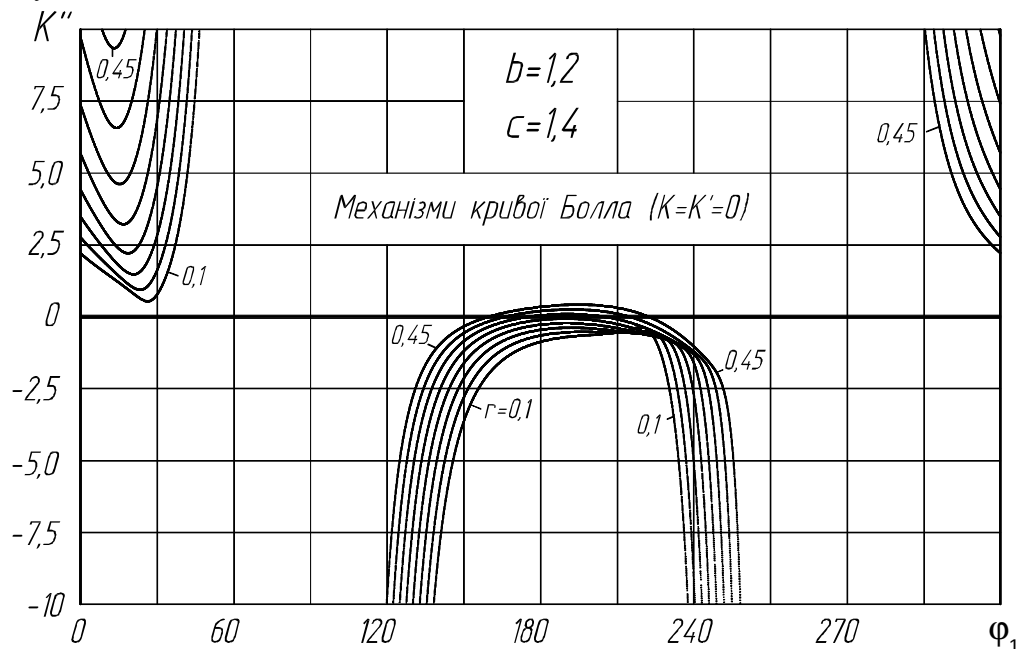


Рис. 2. Приклад діаграми $K''(\varphi_1)$ для визначення точок Чебишева

4. Наступним кроком є чисельна процедура визначення точок, для яких виконується умова $K'' = 0$. На рис. 2 наведено діаграму, з якої видно, що точки Чебишева можуть бути знайдені не для всіх базових чотириланкових механізмів. Наприклад, для заданих розмірів шатуна та коромисла ($b = 1,2; c = 1,4$) точки Чебишева для механізмів з довжинами кривошипів $r < 0,3$ не існують, а для більших

значень можна знайти дві точки Чебишева – причому це справедливо лише для цього конкретного випадку. В загальному випадку кількість знайдених точок буде різною і є предметом для подальших досліджень. Механізми точок Чебишева, знайдені по рис. 2 для $r = 0,37$, зображено з рис. 1: в даному прикладі обидва синтезовані механізми забезпечують вистой вихідної ланки великої тривалості ($\alpha_\Sigma > 150^\circ$).

З метою додаткової перевірки правильності отриманих результатів, для синтезованих механізмів проводилась графічна перевірка відповідно до умови (1), виведеної Р. Мюллером в класичній роботі [10].

Таким чином, в роботі розроблено аналітично-числовий метод визначення особливих точок шатунної площини – точок Чебишева, які забезпечують проектування важільних прямолінійно-напрямних механізмів та побудованих на їх основі механізмів із зупинкою вихідної ланки, який в подальшому може бути використаний для визначення меж існування таких механізмів з метою проведення багатокритеріального оптимізаційного синтезу.

Література

1. Бейер Р. Кинематический синтез механизмов. Основы теории метрического синтеза механизмов / Р. Бейер. – М. : Машгиз, 1959. – 318 с.
2. Геронимус Я. Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов / Я. Л. Геронимус. – М. : Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. – 400 с.
3. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
4. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов / В. Лихтенхельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.
5. Саркисян Ю.Л. Аппроксимационный синтез механизмов / Ю. Л. Саркисян. – М. : Наука, 1982. – 303 с.
6. 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. Кіницький // Вісник Технол. у-ту Поділля. – 2003. – № 4. – С. 43–54.
7. Burmester L. Lehrbuch der Kinematik / L. Burmester. – Leipzig, 1888. – 297 p.
8. Funk W. Unsymmetric Tchebysheff-type Straight-line Mechanisms / W. Funk, V. Gassmann //Proc. Tenth World Congress on the Theory of Mechanisms and Machines, vol. 1 Oulu, Finland, 1999, C. 222-226.
9. McCarthy J. Geometric Design of Linkages / J. McCarthy. – New York : Springer-Verlag, 2000. – 319 p.
10. Müller R., Beiträge zur Theorie des ebenen starren Gelenkvierecks, Festschrift Herzogl. Techn. Hochschule Carola Wilhelmina Braunschweig, 1897, C. 41-84.
11. Vidosic J., Tesar D. Selection of four-bar mechanisms having required approximate straight-line outputs. Part I. The general case of the Ball-Burmester point /Journal of mechanisms, 2(1), 1967, pp. 23-44.
12. Wang D. Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages /Wang D.,Wang W. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. – 450 p.

References

1. Bejer R. Kinemateskij sintez mekhanizmov. Osnovy teorii metricheskogo sinteza mekhanizmov / R. Bejer. – М. : Mashgiz, 1959. – 318 s.
2. Geronimus Ja. L. Geometricheskij apparat teorii sinteza ploskikh mekhanizmov / Ja. L. Geronimus. – М. : Gos. izdatel'stvo fiz.-mat. literatury, 1962. – 400 s.
3. Kinickij Ja.T. Sharnirnye mekhanizmy Chebysheva s vystoem vykhodnogo zvena / Ja. T. Kinickij. – К. : Vishha shkola, 1990. – 232 s.
4. Likhtenkhe'dt V. Sintez mekhanizmov / V. Likhtenkhe'dt. – М. : Nauka, 1964. – 228 s.
5. Sarkisjan Ju.L. Aproksimacionnyj sintez mekhanizmov / Ju. L. Sarkisjan. – М. : Nauka, 1982. – 303 s.
6. Kharzhevskiy V.O. Chysel'no-analitychnyy metod syntezu vazhil'nykh mekhanizmov z zupynkoyu vykhidnoy lanky na bazi nesymetrychnoho sharnirnoho chotyrylankovoho mekhanizmu z vykorystannyam tochok Bolla / V.O . Kharzhevskiy, Ya. T. Kinyts'kyy // Visnyk Tekhnol. u-tu Podillya. – 2003. – # 4. – S. 43–54.
7. Burmester L. Lehrbuch der Kinematik / L. Burmester. – Leipzig, 1888. – 297 p.
8. Funk W. Unsymmetric Tchebysheff-type Straight-line Mechanisms / W. Funk, V. Gassmann //Proc. Tenth World Congress on the Theory of Mechanisms and Machines, vol. 1 Oulu, Finland, 1999, C. 222-226.
9. McCarthy, J., Geometric Design of Linkages, 2nd edition / McCarthy J., Soh G., Springer-Verlag, New York, 2011 – 448 p.
10. Müller R. Beiträge zur Theorie des ebenen starren Gelenkvierecks, Festschrift Herzogl. Techn. Hochschule Carola Wilhelmina Braunschweig, 1897, C. 41-84.
11. Vidosic J., Tesar D. Selection of four-bar mechanisms having required approximate straight-line outputs. Part I. The general case of the Ball-Burmester point /Journal of mechanisms, 2(1), 1967, pp. 23-44.
12. Wang D. Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages /Wang D., Wang W. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. – 450 p.

Рецензія/Peer review : 26.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

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

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СКЛАДОВИХ МОДЕЛІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БІОРЕАКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Запропоновано використання сонячної енергії для підвищення енергоефективності виробництва біогазу. Визначені складові моделі управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії. Запропоновано рівняння для визначення енергоефективності на основі складових моделі управління процесом біоконверсії. Розглянуто типи та ефективність сонячних колекторів та батарей. Розроблена структурно-логічна модель управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії.

Ключові слова: біогаз, біомаса, сонячний колектор, сонячна батарея, альтернативна енергія, відновлювальна енергія.

G.S. RATUSHNYAK, I.A. KOSHCHEIEV
Vinnitsia national technical university

THE DEFINITION OF THE POWER COMPONENTS OF THE ENERGY EFFECTIVE BIOREACTOR MODEL WITH THE USAGE OF SOLAR ENERGY

Abstract - The use of solar energy to improve the energy efficiency of biogas production was proposed. The composition model of project management of improvement of the efficiency of bioconversion process was defined. An equation for determining the energy efficiency which is based on the components of management model of bioconversion process was offered. The types and effectiveness of solar panels and batteries was considered. The structural-logical model of project management of improve the energy efficiency of bioconversion process was developed.

Keywords: biogas, biomass, solar collector, solar panel, alternative energy, renewable energy.

Вступ

Анаеробне бродіння в біореакторі дає можливість отримувати біогаз, але потребує певних затрат додаткової енергії, що може призвести до зниження рентабельності цього процесу [1]. Задля підвищення енергоефективності отримання біогазу необхідно оптимізувати процес біоконверсії шляхом створення нових ефективних управлінських рішень з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії. Застосування комбінованих конструктивно-технологічних рішень поєднання біогазової установки і альтернативних джерел енергії повинно забезпечувати максимальну продуктивність виробництва біогазу з мінімальними затратами енергоносіїв на термостабілізацію ферментації біомаси [2, 3, 4].

Метою роботи є створення моделі управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії, визначення складових процесу біоконверсії та застосування при цьому сонячної енергії.

Експериментальна частина

Анаеробне перероблення органічних відходів дозволяє отримати біогаз та зменшити техногенне навантаження на біосферу. Даний процес споживає певну кількість енергії: теплової енергії – для підтримання термостабілізації в реакторі та попереднього нагрівання субстрату до температури зброджування; механічної енергії – для здійснення перемішування біомаси в ємностях і переміщення матеріальних потоків субстрату [2]. Крім того необхідна певна кількість електричної енергії для функціонування технологічного обладнання та систем управління. Для виробництва біогазу використовують різні за конструктивними особливостями біогазові установки []. Показниками ефективності роботи таких установок є продуктивність, вихід біогазу з одиниці об'єму біомаси, тривалість робочого циклу і енергетичні затрати із забезпечення термостабілізації та інтенсифікації біоконверсії [2]. Тому, для підвищення енергоефективності біоконверсії необхідно рухатись шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси. Основні напрями зменшення енергетичних затрат на процес біоконверсії наведені на рисунку 1.

Для підвищення енергоефективності процесу утворення біогазу необхідно враховувати недоліки існуючих малоєфективних біогазових реакторів. Це такі недоліки як недостатнє та нерівномірне прогрівання суміші біомаси, недостатнє перемішування суміші біомаси, неефективна теплова ізоляція, відсутність утилізації тепла з відпрацьованої суміші біомаси та біогазу, використання для термостабілізації ферментації традиційних джерел енергії.

Розглянемо основні з них.

По-перше, застосовуючи рециркуляцію теплової енергії можна підвищити енергоефективність біогазової установки шляхом встановлення теплообмінника для відбору теплової енергії від утвореного біогазу і відпрацьованої біомаси та використання цієї енергії для підігрівання суміші біомаси всередині біореактора. Рециркуляцію теплової енергії рідко використовують у зв'язку зі збільшенням фінансових витрат на етапі монтажу, що обумовлено влаштуванням теплонасосного обладнання для відбору теплової енергії.



Рис. 1. Напрямки підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси

По-друге, застосування якісної теплової ізоляції дозволяє значно зменшити найбільшу експлуатаційну витрату біогазового виробництва, а одним з найоптимальніших варіантів буде розташування заізованого біореактора зануреним у ґрунт.

По-третє, високоефективним шляхом підвищення енергоефективності біоконверсії є раціональний вибір джерел тепlopостачання для забезпечення термостабілізації процесу ферментації, а саме використання вторинних і відновлювальних джерел енергії. Використання альтернативних джерел енергії є більш економічно вигідним, але збільшує вартість біогазового виробництва і має більший термін окупності та ускладнює всю систему виробництва біогазу. Тому на сьогоднішній день поки що в більшій кількості існують біогазові установки, які працюють завдяки традиційним джерелам енергії. Але використання альтернативних джерел енергії для забезпечення термостабілізації процесу ферментації в біореакторі недооцінене.



Рис. 2. Напрямки використання сонячної енергії в системах біоконверсії

Джерелами енергії для забезпечення термостабілізації процесу ферментації в біореакторі можуть бути: теплова енергія відпрацьованої біомаси та біогазу, теплова енергія викидів агропромислового та сільськогосподарського комплексів, теплова енергія вод артезіанського походження та відкритих водойм, енергія Сонця.

Розглянемо в якості джерела тепlopостачання відновлювальну енергію а саме використання сонячної енергії. Адже, саме її використання, як для безпосереднього нагрівання поверхні резервуару біогазової установки, так і шляхом отримання теплової та електричної енергії від сонячних колекторів та батарей не потребує суттєвих експлуатаційних витрат. При використанні сонячної енергії необхідна

температура в біореакторі досягається шляхом підігрівання біомаси в реакторі передається через теплообмінні радіатори або електронагрівачі. Також, електрична енергія може використовуватись для забезпечення роботи системи управління. Напрямки використання сонячної енергії приведено на рисунку 2.

Використання енергії Сонця з допомогою сонячних колекторів та сонячних батарей дає можливість забезпечити процес бродіння необхідною тепловою енергією. Крім того її використання дає можливість забезпечити електричною енергією роботу всього комплексу біогазової установки і тому експлуатаційні витрати в цьому випадку дуже низькі, а незалежність від змін пов'язаних з традиційними джерелами енергії спрощує систему управління проектом загалом. Граф потоків енергії біореактора з використанням сонячної енергії наведено на рисунку 3.

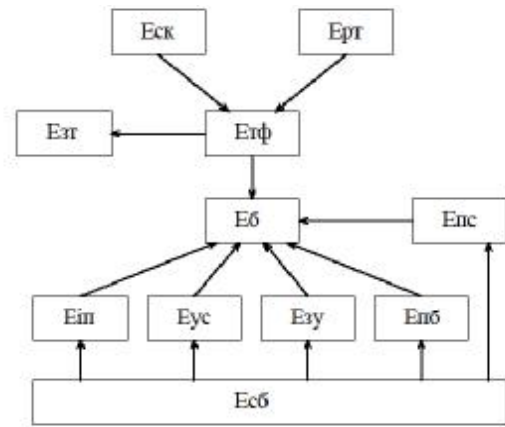


Рис. 3. Граф потоків енергії біореактора з використанням сонячної енергії для забезпечення енергоефективного процесу біоконверсії

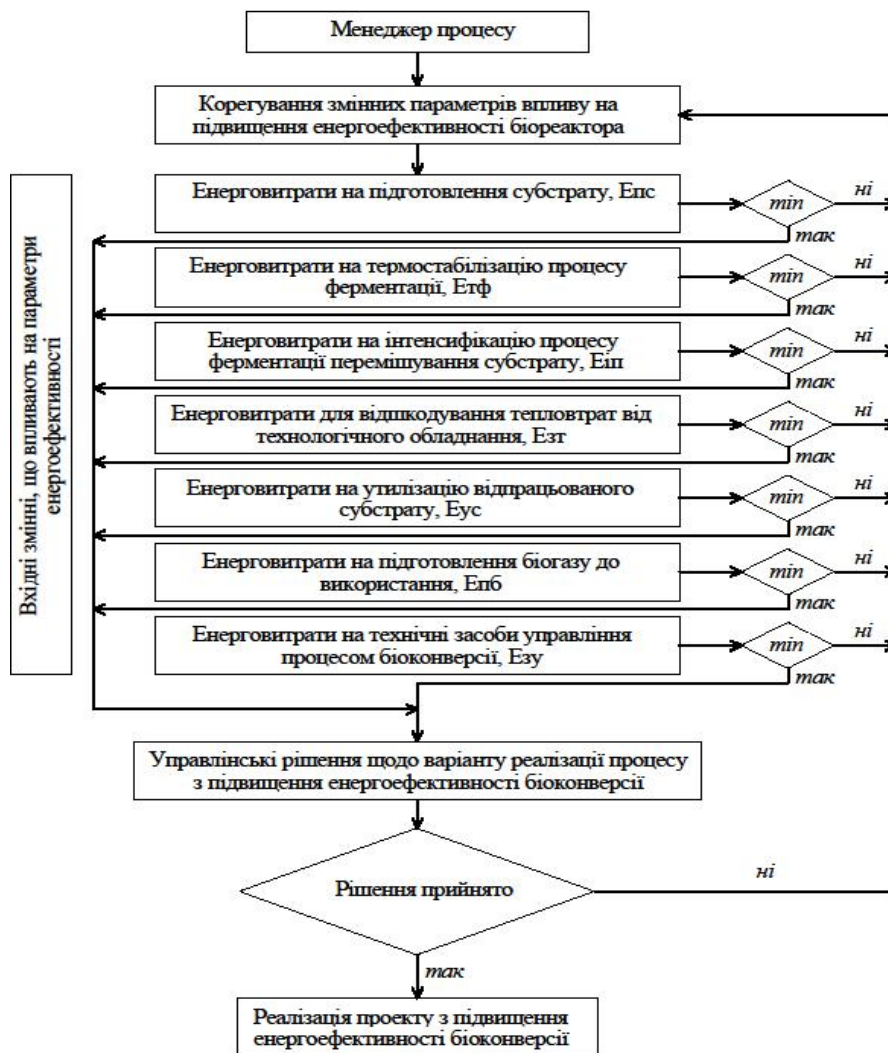


Рис. 4. Структурно-логічна модель управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії

Розглянемо граф. Всі енерговитрати біогазової установки позначені як E_6 . Всі енерговитрати E_6 складаються з таких видів тепловтрат: $E_{тф}$ – енерговитрати на термостабілізації процесу ферментації, $E_{пс}$ – енерговитрати на підготовлення субстрату, $E_{пб}$ – енерговитрати на підготовлення біогазу до використання, $E_{зу}$ – енерговитрати на технічні засоби управління процесом біоконверсії, $E_{ус}$ – енерговитрати на утилізацію відпрацьованого субстрату, $E_{ін}$ – енерговитрати на інтенсифікацію процесу ферментації перемішування субстрату, $E_{зт}$ – енерговитрати для відшкодування тепловтрат від технологічного обладнання біогазової установки. В свою чергу енерговитрати на термостабілізації процесу

ферментації $E_{\text{тф}}$ можуть бути покриті з допомогою енергії: $E_{\text{ск}}$ – енергія від сонячного колектора та $E_{\text{рт}}$ – енергія від рекуперації тепла від біогазу та відпрацьованого субстрату. А енергія від сонячної батареї $E_{\text{сб}}$ покриває такі енерговитрати як: $E_{\text{пс}}$, $E_{\text{пб}}$, $E_{\text{зу}}$, $E_{\text{ус}}$, $E_{\text{ін}}$.

Робота біогазової установки згідно даного графу може бути оптимально організована враховуючи всі складові, а саме головне їх величину, яка має бути якомога меншою, шляхом складання структурно-логічної моделі управління проектом наведеної на рисунку 4.

Енерговитрати біогазової установки повинні бути мінімальними для досягнення найвищої степені енергоефективності, а саме

$$E_6 = f(E_{\text{пс}}, E_{\text{тф}}, E_{\text{ін}}, E_{\text{зт}}, E_{\text{ус}}, E_{\text{пб}}, E_{\text{зу}}) \min, \quad (1)$$

де $E_{\text{пс}}$ – енерговитрати на підготовлення субстрату;
 $E_{\text{тф}}$ – енерговитрати на термостабілізації процесу ферментації;
 $E_{\text{ін}}$ – енерговитрати на інтенсифікацію процесу ферментації перемішування субстрату;
 $E_{\text{зт}}$ – енерговитрати для відшкодування тепловтрат від технологічного обладнання біогазової установи;
 $E_{\text{ус}}$ – енерговитрати на утилізацію відпрацьованого субстрату;
 $E_{\text{пб}}$ – енерговитрати на підготовлення біогазу до використання;
 $E_{\text{зу}}$ – енерговитрати на технічні засоби управління процесом біоконверсії.

Енерговитрати на термостабілізацію процесу ферментації можуть бути покриті енергією сонячного колектора та енергією від утилізації тепла біогазу та відпрацьованої біомаси

$$E_{\text{тф}} = E_{\text{ск}} + E_{\text{рт}}, \quad (2)$$

де $E_{\text{ск}}$ – енергія від сонячного колектора;
 $E_{\text{рт}}$ – енергія від рекуперації тепла від біогазу та відпрацьованого субстрату.

Кількість енергії від сонячного колектора залежить від багатьох факторів, основними з яких є тривалість сонячних днів року, тривалість надходження сонячних променів протягом дня та коефіцієнт корисної дії перетворення їх в теплову енергію сонячного колектора

$$E_{\text{ск}} = f(\tau_{\text{рік}}, \tau_{\text{дня}}, \eta_{\text{ск}}), \quad (3)$$

де $\tau_{\text{рік}}$ – тривалість сонячних днів року;
 $\tau_{\text{дня}}$ – тривалість сонячних променів протягом дня;
 $\eta_{\text{ск}}$ – ККД сонячного колектора.

А от всі інші енерговитрати можна покрити енергією сонячної батареї:

$$E_{\text{сб}} = E_{\text{ін}} + E_{\text{ус}} + E_{\text{зу}} + E_{\text{пб}}, \quad (4)$$

$$E_{\text{сб}} = f(\tau_{\text{рік}}, \tau_{\text{дня}}, \eta_{\text{сб}}), \quad (5)$$

де $\eta_{\text{сб}}$ – ККД сонячної батареї.

При виборі сонячних колекторів чи батарей необхідно звертати увагу, в першу чергу, на коефіцієнт корисної дії. Вакуумні сонячні колектори відрізняються по типу скляної трубки: коаксіальна, пір'ясті. ККД сонячних колекторів з коаксіальними вакуумними трубками невисока і може сягати 65% при виконанні коаксіальних трубок з тепловим каналом типу «Heat pipe», але при виконанні її з прямоточним тепловим каналом показник ККД зростає до 76%. Пір'яста трубка з тепловим каналом типу «Heat pipe» у сонячних колекторах дає можливість отримати ККД у межах до 77%, а з прямоточним тепловим каналом до 80%. ККД плоских сонячних колекторів може бути вищою за показники вакуумних сонячних колекторів, але лише при невеликій різниці температур теплоносія і зовнішнього середовища, тобто їх використання в холодний період року неефективне. Сонячні колектори наявні у різних виробників, наприклад: «Стар енержи», «Корді» «Sint solar», «Meibes», «Viessmann», «Vaillant», та інші. Порівняння ККД плоских та вакуумних сонячних колекторів наведено на рисунку 5 [5].

Сонячні ж батареї конвертують сонячну енергію в електричну енергію з значно меншим коефіцієнтом корисної дії. Продуктивність серійних промислових сонячних панелей може коливатись від 7 до 20%, але на сьогоднішній день існують лабораторні зразки з ККД близько 50%. Компанія «SunTech Power» заявила, що в найближчі роки в серійному виконанні будуть сонячні панелі з кремнієвими кристалічними фотомодулями, ККД яких буде 22%. Також існують тонкоплівкові сонячні батареї ККД яких в межах 10-13%, але вже в найближчому майбутньому заявлено деякими компаніями виробництво більше ефективних сонячних батарей : 15,7% (компанія MiaSole), 18,7% (компанія EMPA), та інші. Але все-таки найбільш продуктивними є багаточарові сонячні модулі. Їх ККД на сьогодні складає близько 30%, а прогнозується досягнення відмітки у 68–86 %. Такі модулі не так давно використовуються в серійному

виконанні, хоча саме вони були застосовані на станції «Мир», марсоході «Mars Exploration Rover» тощо.

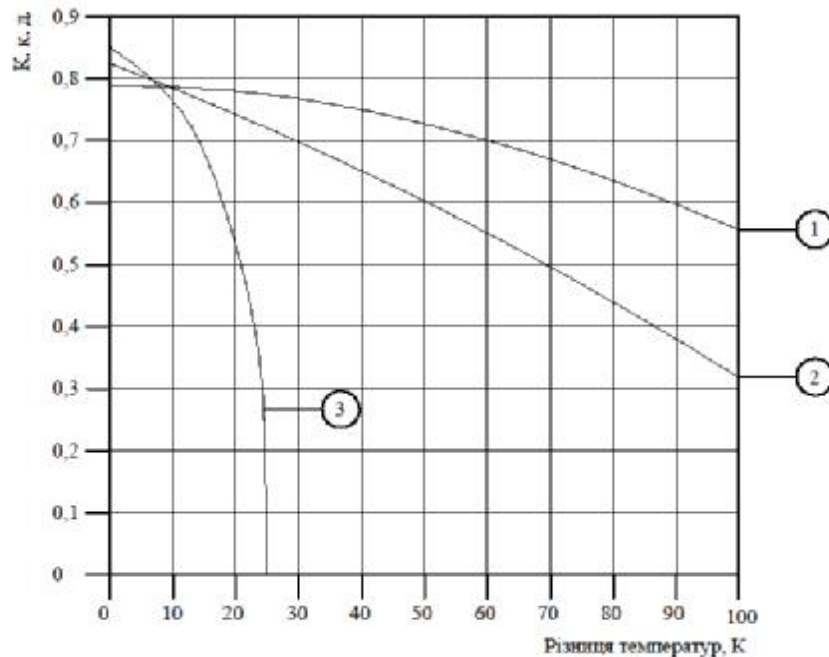


Рис. 5. Порівняння ККД сонячних колекторів:

1 – вакуумний трубчатий сонячний колектор, 2 – плоский сонячний колектор з селективним покриттям, 3 – відкритий сонячний колектор/абсорбер

Висновки

Як альтернативне джерело енергії запропоновано використання сонячної енергії для підвищення енергоефективності виробництва біогазу. Визначені складові моделі управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії. Розроблено структурно-логічну модель управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії. Запропоновані напрямки підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси.

Література

1. Ратушняк Г. С. Энергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання / Г. С. Ратушняк, В. В. Дзеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 170 с.
2. Ратушняк Г. С. Енергоефективні технологічні процеси та обладнання біоконверсії / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 148 с.
3. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії шляхом використання відновлювальних джерел енергії / Ратушняк Г. С., Кошчєєв І. А. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011. – №2. – С. 157–160.
4. Ратушняк Г. С. Енергоефективність біоконверсії при термостабілізації анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці з тепловим насосом / Ратушняк Г. С., Кошчєєв І. А. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012. – №2. – С. 145–151.
5. Механизм действия солнечного нагрева бассейна: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://solar-kollektor.ru/solnecnii_nagrev.htm

Referenced

1. Ratushnyak G. S. Energy saving and renewable sources of heat supply / G. S. Ratushnyak, V. V. Dzhezdzhula, K. V. Anokhina - Vinnytsia: VNTU, 2010. - 170 pp. [in Ukrainian]
2. Ratushnyak G. S. Energy efficient processes and equipment for bioconversion / G. S. Ratushnyak, K. V. Anokhina - Vinnytsia: VNTU, 2013. - 148 pp. [in Ukrainian]
3. Ratushnyak G. S. Intensification of bioconversion with using renewable energy sources / G. S. Ratushnyak, I. A. Koshcheiev // Modern technologies, materials and constructions in building. - 2011: №2. - pp. 157-160. [in Ukrainian]
4. Ratushnyak G. S. Energy efficiency bioconversion in thermal stabilization of anaerobic fermentation substrate in the biogas plant with heat pump / G. S. Ratushnyak, I. A. Koshcheiev // Modern technologies, materials and constructions in building. - 2012: №2. - pp. 145-151. [in Ukrainian]
5. The mechanism of action of the solar pool heating : [Elektronic resource]. – Access mode: http://solar-kollektor.ru/solnecnii_nagrev.htm/. [in Ukrainian]

Рецензія/Peer review : 29.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.
Рецензент: к.т.н., професор Коц І. В.

В.А. ТОЛБАТОВ, О.А. ДОБРОРОДНОВ

Сумський державний університет

А.В. ТОЛБАТОВ, О.Б. В'ЮНЕНКО

Сумський національний аграрний університет

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХИСТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД ВІДМОВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ

Проведені дослідження, пов'язані з підвищенням надійності технологічного обладнання з жорсткою та гнучкою логікою для всіх промислових галузей. Запропоновано алгоритм формалізованого вибору параметрів, що визначають предаварійну та аварійну ситуацію, яка виникає на обладнанні в результаті відмови в системі управління.

Ключові слова: аварія, відмова, захист, надійність, обладнання, система управління.

V.A. TOLBATOV, O.A. DOBRORODNOV

Sumy state university

A.V. TOLBATOV, VIUNENKO O.B.

Sumy National Agrarian University

BASIC PRINCIPLES OF PROTECTION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT DISCLAIMER CONTROL SYSTEM

The research related to the increased reliability of process equipment with rigid and flexible logic for all industrial sectors. The algorithm formalized selection parameters determining predavariynu and emergency that occurs on the equipment as a result of failure in the control system (CS). The aim - to protect equipment from the introduction of failures occurring in the CS, CS improve operational reliability, prevent shortage of products, equipment accident prevention and injury of staff.

Keywords: failure, rejection, protection, safety, equipment, control system.

Вступ

За своєю природою відмови можуть бути випадкові та систематичні. За характером виникнення раптова відмова виявляється в різкій зміні характеристик об'єкта. Поступова відмова це відмова що відбувається в результаті повільного, поступового погіршення параметрів об'єкту. Як зазначається в роботі – забезпечення надійності можуть проводитися на стадії проектування, виготовлення та експлуатації об'єкта.

Розгляд проблеми

Розглянемо метод оцінки допустимих відхилень визначальних параметрів, а також алгоритми автоматичного визначення допустимого відхилення. Наведемо приблизний перелік видів захисту для оптимального функціонування обладнання та систем управління.

Мета дослідження – введення захисту обладнання від відмов, що виникають у системі управління (СУ), підвищення експлуатаційної надійності СУ, запобігання браку продукції, що випускається, попередження аварії устаткування і травматизму обслуговуючого персоналу.

Основна частина

Надійність це властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати задані функції у відповідних режимах та умовах застосування. Підвищення надійності СУ досягається завдяки перенесенню відмов СУ в інший клас подій - в клас, що характеризується короточасним припиненням роботи обладнання, яке не викликає брак продукції або аварію. При цьому втрати продуктивності в загальних втратах можна не враховувати через їхню незначну частку, що обумовлено можливістю автоматичного поновлення технологічного процесу, автоматизованого пошуку несправності в системі управління, забезпечення легкої змінюваності і взаємозамінності змінних вузлів СУ.

Аварія обладнання (мається на увазі брак, власне аварія та ін.), що відбувається через відмову СУ, як правило, не виникає миттєво. Спочатку в результаті відмови якого-небудь елементу системи управління або при неприпустимих змінах параметрів навколишнього середовища створюється ситуація, яка за певними симптомами може бути відповідним чином класифікована.

Стан СУ і об'єкта управління характеризує цілий ряд параметрів. Серед них можна виділити такі, які найбільш точно відображають зміни в процесі функціонування устаткування. Саме ці параметри і можна використовувати в якості визначальних при класифікації ситуації як предаварійної чи аварійної, тому що в них поступово накопичуються помилки, які зрештою і призводять до аварії. Від точності вибору визначальних параметрів багато в чому залежить ефективність системи захисту.

Дані рекомендації поширюються на системи з жорсткою та гнучкою логікою, побудовані на основі мікропроцесорів та промислових комп'ютерів [1-5].

Для того щоб з безлічі параметрів вибрати мінімальний набір визначальних, пропонується використовувати розроблений спеціальний алгоритм. Однак, перш ніж розглянути цей алгоритм, зупинимося на основних принципах вибору визначальних параметрів.

З метою полегшення вибору визначальних параметрів у системі захисту виділяється чотири ієрархічних рівня відповідно до використовуваної для них інформації (один зовнішній і три

внутрисистемних рівня):

нульовий - при неприпустимому впливі зовнішнього середовища;

перший - при відхиленні значень параметрів технологічного процесу і системи автоматизованого регулювання;

другий - при помилках у каналах управління;

третій - при порушенні роботи функціональних пристроїв, що складають систему управління.

Побудова системи захисту на основі інформації більш високого ієрархічного внутрішньосистемного рівня виключає необхідність організації захисту з використанням інформації більш низького рівня, яка входить в інформацію більш високого рівня.

Нормальне функціонування системи управління може бути забезпечене в певному діапазоні станів навколишнього середовища. При виході параметрів, що характеризують навколишнє середовище, за допустимі для апаратури системи управління кордони не можна гарантувати стійку і правильну роботу як пристроїв управління, так і елементів системи захисту. Тому в СУ необхідно передбачити захист від виходу параметрів навколишнього середовища за межі їх граничних значень - захист нульового рівня.

Граничні значення параметрів навколишнього середовища, що визначаються виходячи з властивостей апаратури, регламентовані в нормативно-технічній документації, в якій ці параметри задані системою нерівностей.

Система управління обладнанням на основі мікропроцесорів може бути віднесена до засобів обчислювальної техніки. За умовами експлуатації з урахуванням вимог на мікропроцесорну техніку встановлюються граничні значення визначальних для функціонування СУ параметрів навколишнього середовища.

Захист першого рівня побудований на використанні інформації про технологічний процес обробки.

Дотримання технології обробки гарантує випуск високоякісної продукції. Якість одержуваної в процесі обробки продукції забезпечується дотриманням технічних вимог в межах їх допусків.

Для побудови захисту першого рівня необхідно мати інформацію про технологічний процес, як образ в реальному масштабі часу.

Відтворення справжніх фізичних процесів ускладнює отримання точного способу виконання технологічного процесу. Найбільш перспективними методами створення такого образу представляються методи моделювання роботи всієї системи управління (рис. 1) і запам'ятовування еталонного процесу - "режим тестування" (рис. 2)

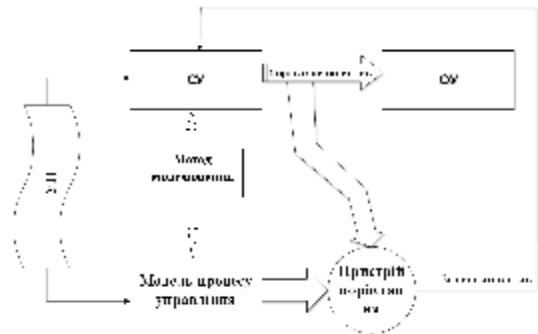


Рис. 1. Схема моделювання сучасних систем управління

Для першого рівня захисту в якості визначальних

параметрів служать дані про просторово-часове положення виконавчих механізмів СУ.

Для захисту другого рівня процес вибору визначальних параметрів ґрунтується на декомпозиції цільової функції всієї СУ, при якій виділяються окремі напрямки поширення керуючого впливу по каналах управління, що дозволяє розділити загальну задачу захисту на більш прості.

В СУ легко виділяються наступні напрямки поширення керуючого впливу при роботі обладнання в автоматичному режимі: управління приводом головного руху (ГР), приводом подачі і пристроями електроавтоматики (ЕА).

Керуючий вплив має одну вихідну точку - управляючу програму (УП) та одну завершальну точку - виконавчий механізм (ВМ). Сукупність усіх керуючих впливів утворює граф-дерево з одним витком - УП - і безліччю стоків - ВМ (рис. 3а).

При побудові захисту даного рівня образ технологічного процесу розпадається на складові, завдяки чому з'являються додаткові зв'язки, що характеризують фізичні процеси по кожному напрямку. Виходячи з вимоги відтворення з найбільшою точністю (як просторової, так і тимчасової) задаються УП переміщень, швидкості і моментів включення (відключення) пристроїв, встановлюють критерії, які покладені в основу захисту та визначальні параметри.

На рисунках 3,б,в,г,д наведені варіанти захисту різних каналів керування, відповідних дереву поширення керуючого впливу.

Третій рівень об'єднує методи захисту від відмов, що виникали в окремих пристроях системи управління (процесори, ЗУ, пристрої введення).

На даному рівні ієрархії зв'язок визначальних параметрів, що характеризують роботу окремих

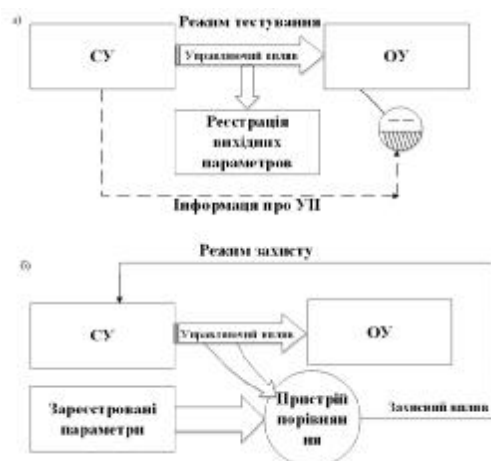


Рис. 2. Схеми запам'ятовування еталонного процесу:
а - режим тестування; б - режим захисту системи

функціональних пристроїв, з загальносистемною цільовою функцією виражена неявно. У деяких випадках

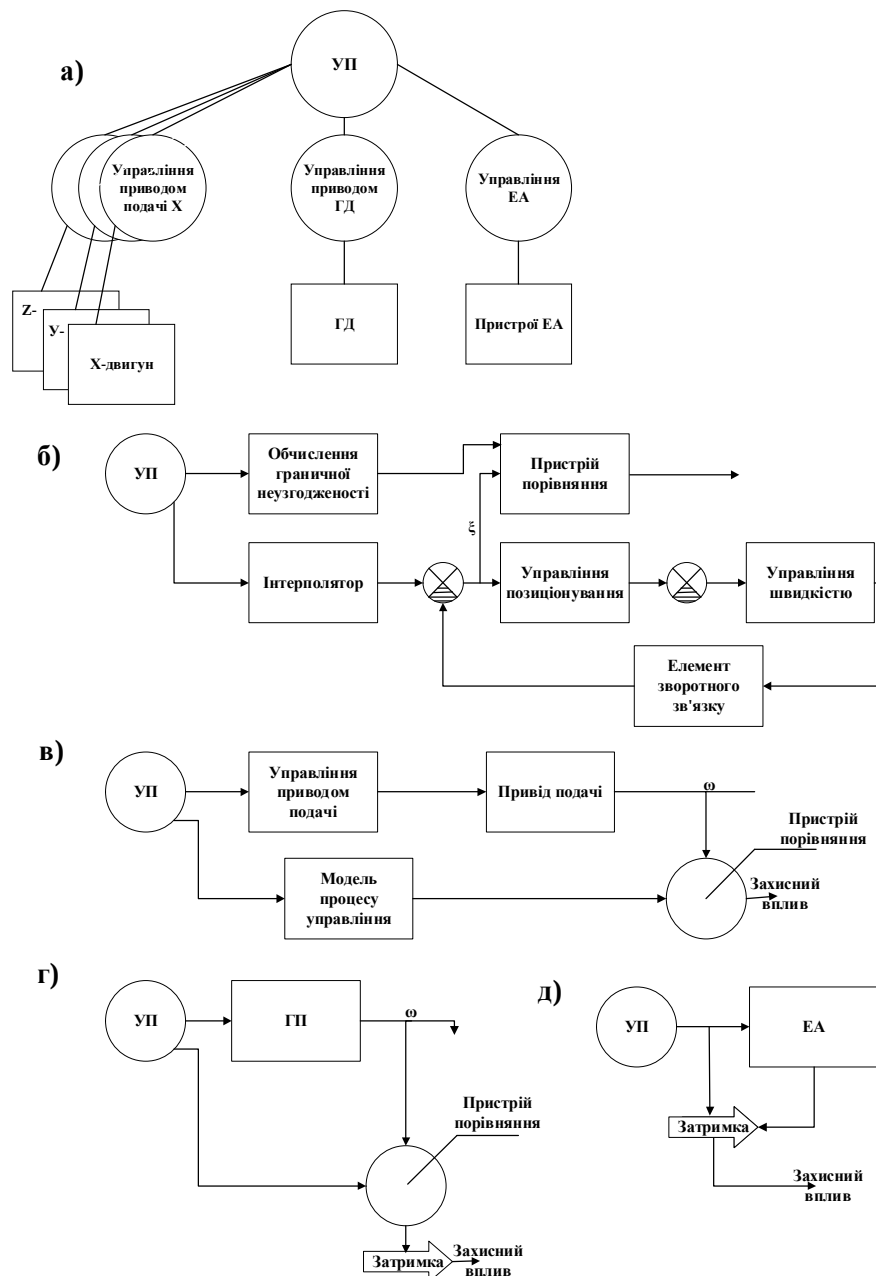


Рис. 3. Варіанти захисту каналів керування

що і для перших двох внутрішньосистемних рівнів. Однак найбільш вживаними будуть методи, засновані на аналізі стану пристроїв, їх статичних та динамічних характеристик та методи сигнатурного діагностування (рис. 4).

Декомпозиція завдання побудови захисту на більш низькі ієрархічні рівні недоцільна, оскільки при значному збільшенні обсягу переробленої інформації, дії з відновлення відмовившого пристрою залишаються незмінними: несправний ТЕЗ замінюється на справний. Більш детальна інформація залишається невикористаною.

Запропоновані принципи вибору визначальних параметрів покладені в основу розробленого алгоритму вибору (рис. 5) який дозволяє формальним чином підійти до вирішення задачі синтезу системи захисту та оптимізувати захист з точки зору витрачених на неї ресурсів (обсяг ЗУ, швидкодію, кількість пристроїв і т. ін.).

Застосування запропонованого алгоритму здешевлює розробку системи захисту, тому що при цьому виключається дублювання використовуваних для побудови захисту визначальних параметрів, які увійшли до композиції більш високого рівня.

Вибір захисту більш високого внутрішньосистемного ієрархічного рівня кращий, тому що крім економії ресурсів досягається найбільше фізичне наближення до реального об'єкта, що захищається.

При організації захисту рекомендується аналізувати також ступінь його повноти.

відмова функціонального пристрою може не позначитися на проходженні технологічного процесу, що ускладнює вибір визначаючого параметра. Особливість захисту третього рівня - різноманітність фізичної природи визначальних параметрів, що обумовлено різноманітністю фізичних процесів, що протікали в різних функціональних пристроях системи управління. Даний ієрархічний рівень найбільшою мірою наближається до діагностичного рівня. У випадку, якщо функціональні пристрої СУ є типовими елементами заміни (ТЕЗ), то третій рівень захисту може бути ототожнений з функціональним діагностуванням: спрацювання захисту даного рівня локалізує несправний ТЕЗ. Методи визначення аварійної ситуації, застосовувані на даному рівні захисту, можуть бути тими ж,

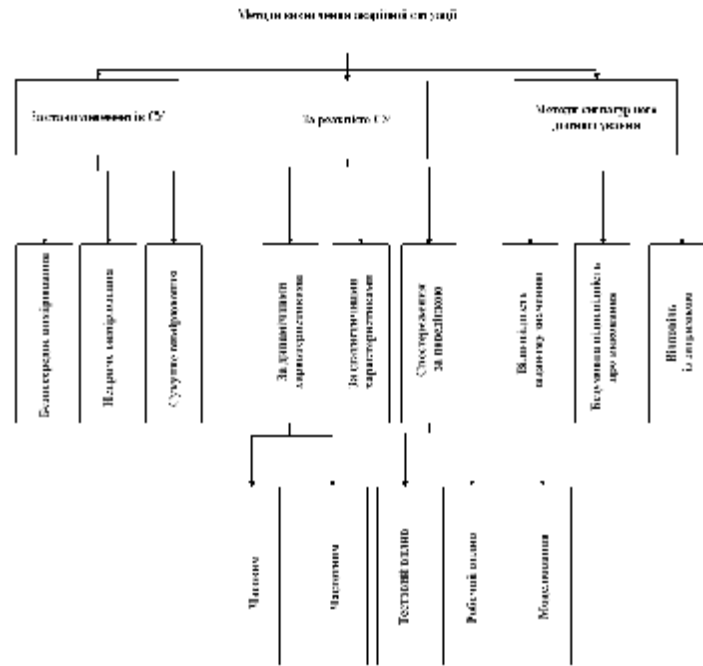


Рис. 4. Структура методів визначення аварійних ситуацій

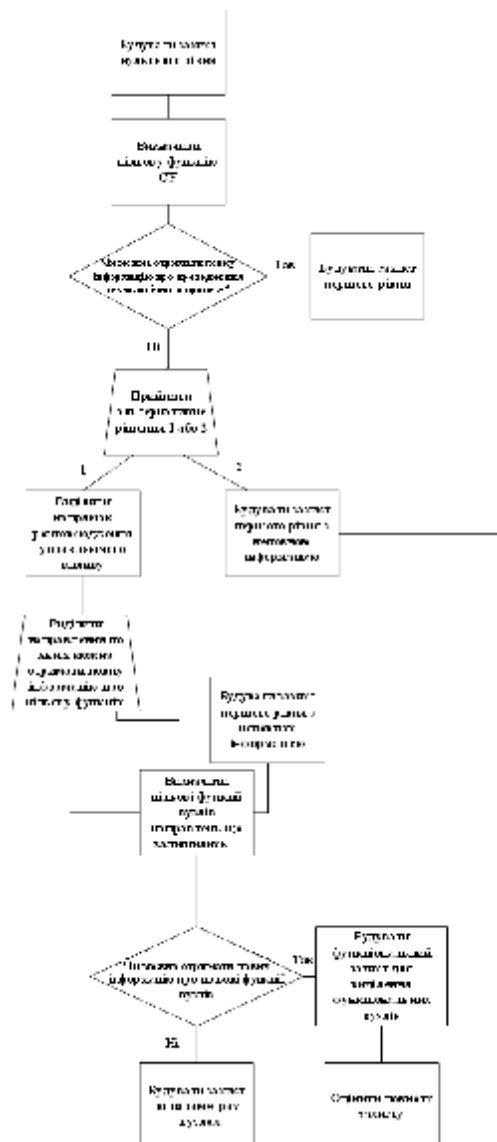


Рис. 5. Структурна схема алгоритму вибору системи захисту

Висновки

В даній роботі розроблено алгоритм вибору системи захисту для технологічного обладнання з різноманітною складністю, який дозволяє підійти до вирішення задачі синтезу захисту та оптимізувати його. Запропановані методи підвищення ефективності функціонування обладнання з жорсткою та гнучкою логікою: моделювання сучасних систем управління технологічним обладнанням, запам'ятовування еталонного процесу, визначення сукупності керуючих впливів, визначення аварійних ситуацій. У подальшому планується доповнення по визначенню допустимих відхилень вибраних параметрів які спільно дозволять провести підвищення ефективності функціонування технологічного обладнання.

Література

1. Толбатов В.А. Методологічні основи вибору критерію параметричної надійності електричних систем управління металорізальним обладнанням / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2010. – №1. – С.37-45.
2. Толбатов В.А.. Інженерний синтез за критерієм надійності електричних систем керування металорізальним обладнанням із жорсткою логікою / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, С.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2011. – №2. – С.48-54.
3. Толбатов В.А. Техніко-економічне обґрунтування побудови систем управління підвищеної надійності / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, С.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2012. – №3. – С.68-71.
4. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Tolbatov S.V. Dobrorodnov O.A. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis. // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmelnytskyi.-2014.-№3 P.132-135.
5. Толбатов А.В. Метод захисту цифрової інформації на основі СЗ / А.В. Толбатов, Т.Л. Щербак // Тезиси докладов Второй Международной научной конференции “Современные методы кодирования в электронных системах”. – Суми : Вид-во СумДУ, 2004. – С. 67–68.

References

1. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Metodologichni osnovy` vy`boru kry`teriyu parametry`chnoyi nadijnosti elektry`chny`x sy`stem upravlinnya metalorizal`ny`m obladnanniam. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`. -2010.-№1.-S.37-45.
2. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V. Inzhenerny`j sy`ntez za kry`teriyem nadijnosti elektry`chny`x sy`stem keruvannya metalorizal`ny`m obladnanniam iz zhorstkoyu logikoyu. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`. -2011.-№2.-S.48-54.
3. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V. Texniko-ekonomichne obrgruntuvannya pobudovy` sy`stem upravlinnya pidvy`shhenoyi nadijnosti. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`. -2012.-№3.-S.68-71.
4. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Tolbatov S.V. Dobrorodnov O.A. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis. // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmelnytskyi.-2014.-№3 P.132-135.
5. Tolbatov A.V., Shherbak T.L. Metod zaxy`stu cy`frovoi informaciyi na osnovi SZK. // Tezisy dokladov 2 Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Sovremennye metody kodirovaniya v elektronnyh sistemah”. – Sumy` : Vy`d-vo SumDU, 2004. – S. 67–68.

Рецензія/Peer review : 20.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Довбиш А.С.

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ЛИСТОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Одержані явні залежності для призначення умов проведення експериментів для визначення механічних характеристик листових матеріалів, що забезпечують проведення експериментів з мінімальними похибками і передбачають неможливість появи поперечних хвиль втрати стійкості, що може використовуватись для вдосконалення існуючих стандартів.

Ключові слова: механічні характеристики, листові матеріали.

G.V. SHCHUTSKA

Kyiv National University of Technologies and Design

FEATURES OF ORGANIZATION OF EXPERIMENTS OF SHEET MATERIALS

Abstract – The explicit dependence to determine the experimental conditions for studying the mechanical properties of sheet materials to ensure that the tests with minimal errors are developed. These conditions include the impossibility of the appearance of transverse waves of instability. This technique can be used to improve existing standards.

Keywords: mechanical properties, sheet materials.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

В процесах обробки листових, зокрема текстильних матеріалів, одними з важливих показників є механічні характеристики, що визначають міцність, пружність, еластичність даних матеріалів. У ряді нормативних документів [1-5] визначаються вимоги до визначення подібних характеристик шляхом проведення механічних випробувань, основна схема яких показана на рисунку 1. При цьому зразок матеріалу, що уявляє собою прямокутну плоску пробу малої товщини, підлягає розтягненню, або іншим видам деформацій, при цьому фіксується навантаження, подовження, скорочення і інші характеристики. У наявних стандартах наведені також рекомендації по вибору розмірів проб.

У той же час в деяких публікаціях [6-7] відзначені явища, що на наш погляд не враховуються наявними нормативними документами. Зокрема, описується ефект появи ефект поперечної втрати стійкості, що може в значній мірі вплинути на результати випробувань. Врахування вказаних ефектів дасть змогу більш адекватно визначати результати експериментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.

В існуючих стандартах наведені рекомендації щодо вибору розмірів проб текстильних і інших листових матеріалів. Зокрема, в [1] рекомендуються розміри 200?200 мм, в [2] визначаються вимоги до проб розміром 250?250 мм, в [3-4] - 50?200 мм. В [5] описані очікувані результати, які, однак не пов'язуються з реальними розмірами і величиною навантажень.

У той же час в [6] описаний ефект появи поперечних хвиль втрати стійкості, що в значній мірі впливає на характеристики деформування і навантаження. Реальних рекомендацій і співвідношень не наведено. Спроба визначити вплив цього ефекту зроблена в [7], однак наведені тільки загальні залежності без реальних висновків.

В роботі [8] зроблена спроба обґрунтувати вимоги до параметрів випробування, однак це зроблено в описовому вигляді без математичного обґрунтування.

Мета роботи – розробити загальну методику обґрунтування основних параметрів випробування текстильних матеріалів з врахуванням ефектів тонколистових зразків, пов'язаних, зокрема з поперечною втратою стійкості.

Обґрунтування отриманих наукових результатів

Всі умови навантаження і деформування листових матеріалів свідчать про плоске навантаження, хоча традиційно при випробуваннях розглядається одновісний напружений стан. Зокрема, поздовжні σ_x напруження визначаються відношенням сили, що розтягує зразок до його поперечного перерізу, поперечні напруження σ_y вважаються нульовими, поздовжні деформації ϵ_x визначаються законом Гука, відношенням

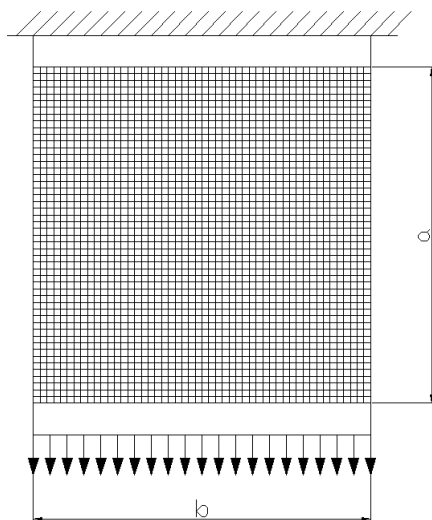


Рис. 1. Схема проведення механічних випробувань текстильних матеріалів

напружень σ_x до модуля повздовжньої пружності E . Поперечні деформації ε_x у більшості випадків не розглядаються зовсім, у деяких випадках визначаються коефіцієнтом Пуассона μ .

У той же час при розтягуванні плоских зразків можна передбачити стискування середньої частини проби при утриманні граничних зон без деформацій за рахунок жорсткого закріплення. Внаслідок цього напружений стан перестає бути рівномірним і перетворюється у двовісний, при цьому цілком ймовірна поява значних поперечних напружень і деформацій.

Рівняння плоскої задачі пружності для матеріалів з лінійними співвідношеннями напружень і деформацій може бути записане у вигляді бігармонічного рівняння

$$\nabla^2 \nabla^2 \varphi = 0, \quad (1)$$

Де φ – функція напружень, для якої можуть бути виписані співвідношення

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}. \quad (2)$$

На вільних границях зразка повздовжні і поперечні напруження відсутні, таким граничним умовам може задовольняти тригонометрична функція, тому шукану функцію напружень уявимо у вигляді

$$\varphi = \frac{f(x) \sin \pi y}{b}, \quad (3)$$

Підставивши в бігармонічне рівняння, одержимо рівняння

$$f^{IV} - 2 \frac{\pi^2}{b^2} f'' + \frac{\pi^4}{b^4} f = 0, \quad (4)$$

Розв'язком якого буде вираз з чотирма невідомими константами

$$f(x) = C_1 \sinh \frac{\pi x}{b} + C_2 \cosh \frac{\pi x}{b} + C_3 \cdot x \cdot \sinh \frac{\pi x}{b} + C_4 \cdot x \cdot \cosh \frac{\pi x}{b}. \quad (5)$$

Врахувавши граничні умови по повздовжній осі, геометричні співвідношення між переміщеннями і деформаціями, співвідношення для закону Гука $\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu \sigma_y)$, $\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \mu \sigma_x)$, можна визначити константи рівняння.

Граничні умови по повздовжній осі задамо у вигляді геометричних відношень, на початку координат повздовжні і поперечні переміщення дорівнюють нулю, на кінці листа поперечні переміщення дорівнюють нулю, повздовжні – заданому переміщенню Δ .

Після розв'язку можна одержати розподілення напружень, деформацій і переміщень по площині зразка.

На рисунку 2, зокрема, показана зміна поперечних переміщень по площині матеріалу. Можна відзначити, що, якщо повздовжні переміщення не сильно змінюються, градієнти поперечних параметрів досить помітні.

На рисунку 3 показна зміна дотичних напружень τ_{yx} по довжині, яка демонструє майже лінійну залежність напруження від обох координат.

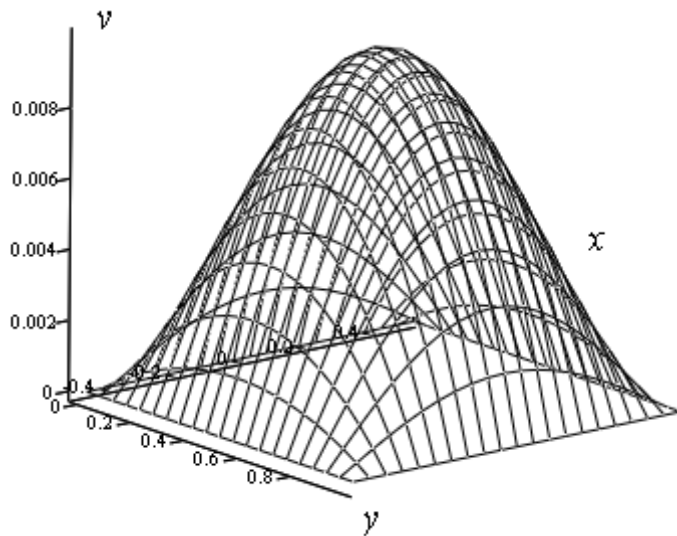


Рис. 2. Поверхня зміни поперечних деформацій

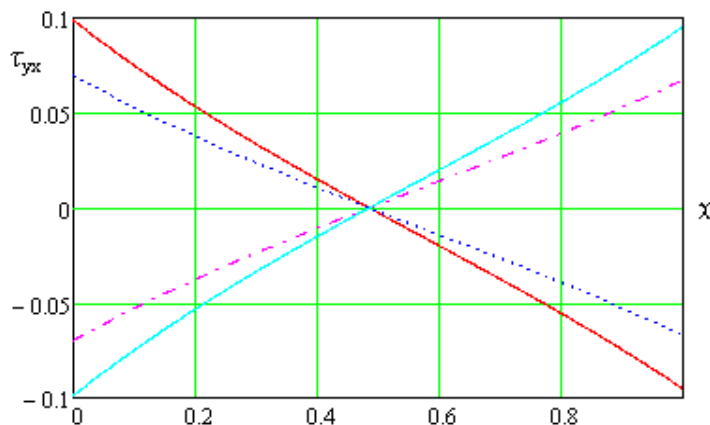


Рис. 3. Зміна дотичних напружень τ_{yx} по довжині

Найбільш ефектною є залежність поперечних напружень по площині листового матеріалу (рис. 4), в якій присутня явно виражена не лінійність в обох напрямках.

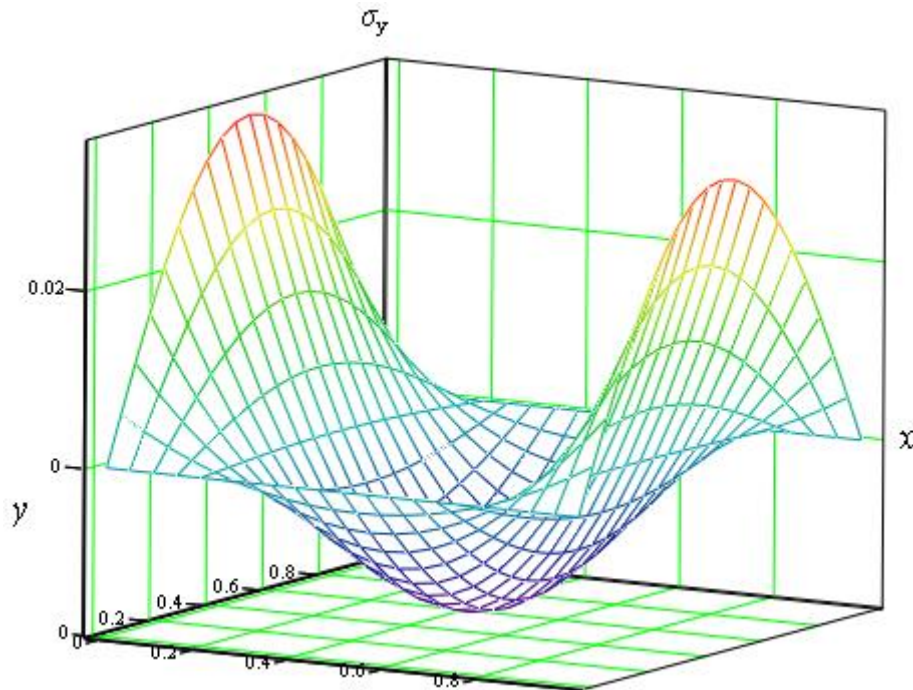


Рис. 4. Просторове розподілення поперечних напружень

Графік демонструє наявність як розтягувальних на границях, так і стискувальних в середній частині напружень. Нагадаємо, що справа йдеться про досить тонкі матеріали, для яких стискувальні напруження, навіть невеликі, можуть вести до втрати стійкості, що ззовні буде виражатися у появі поперечних хвиль на матеріалі, а для експериментів – появу значних похибок у вимірюванні.

З метою дослідження цього ефекту запишемо рівняння згину листового матеріалу у вигляді диференційного рівняння Софі Жермен

$$\frac{E\delta^2}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial^2 x \partial^2 y} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right) = \sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad (6)$$

Аналізуючи зміну функцій повздовжніх і поперечних напружень, можна зробити висновок про можливість їх описання простими ступеневими функціями. Якщо початок координат взяти в точці перетинання осей симетрії посередині зразка, запропоновані функції можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} \sigma_y &= (k_2 x^2 - k_1) \cos \frac{\pi y}{b}, \\ \sigma_x &= (k_3 - k_4 x^2). \end{aligned} \quad (7)$$

Розв'язок рівняння втрати стійкості будемо шукати у вигляді тригонометричних функцій, наприклад у вигляді

$$w = C \sin \frac{\pi x}{a} \cos \frac{j\pi y}{b}. \quad (8)$$

Підставивши в вихідне рівняння, одержуємо

$$\frac{\pi^4 \delta^2}{12b^4(1-\mu^2)} \left[\frac{b^4}{a^4} + 2j^2 \frac{b}{a^2} + j^4 \right] = a \left(\frac{b^2}{a^2} (k_3 - k_4 x^2) - (k_2 x^2 - k_1) \cos \frac{\pi y}{b} \cdot j^2 \right). \quad (9)$$

Означимо надалі

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{b}{a}, \\ \lambda &= \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2}, \\ \vartheta &= \frac{\Delta \alpha}{\delta^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Використавши означення, можна одержати бікватратне рівняння відносно кількості хвиль. Умовою втрати стійкості буде можливість реального розв'язку, що забезпечується позитивністю значення дискримінанту рівняння

Дискримінант рівняння

$$Dl = \frac{\lambda \theta}{4\beta} (k_2 x^4 - 2k_1 k_2 x^2 + k_1^2) \cos \frac{\pi y^2}{b} - k_3 + k_4 x^2 \quad (11)$$

$$\lambda \beta^2 \theta (0,25 \lambda \theta k^2 - \beta) > 0$$

Таким чином, якщо нерівність виконується, відбувається поперечна втрата стійкості листового матеріалу, яка може призвести до порушень умов дослідження матеріалу. Зона втрати стійкості може бути визначена шляхом розв'язку нерівності. Для різних параметрів зона втрати стійкості показана на рисунку 5.

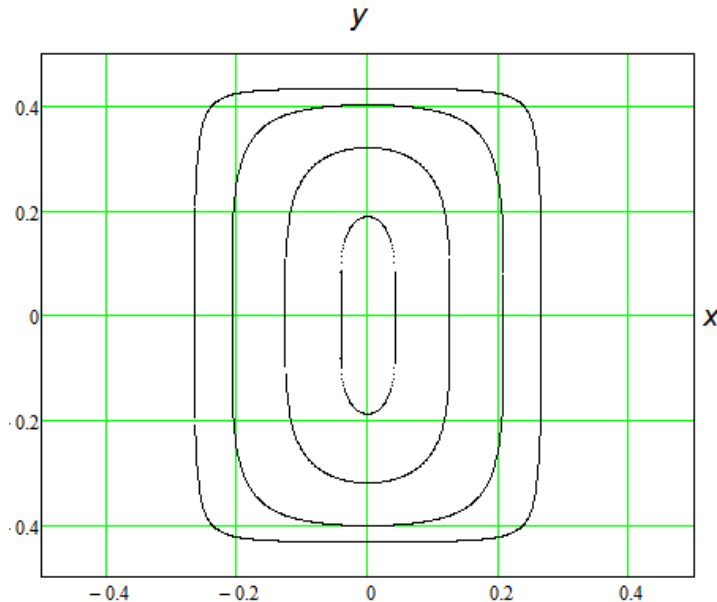


Рис. 5. Зона поперечної втрати стійкості для листового матеріалу

Кількість хвиль втрат стійкості визначається з розв'язку бікватратного рівняння, форма досліджуваного матеріалу бути мати вигляд (рис.6), що свідчить про значні порушення у формі представлення навантаження в процесі знаходження реальних механічних характеристик. Умовою не появи цього ефекту буде недопущення позитивного значення дискримінанту бікватратного рівняння.

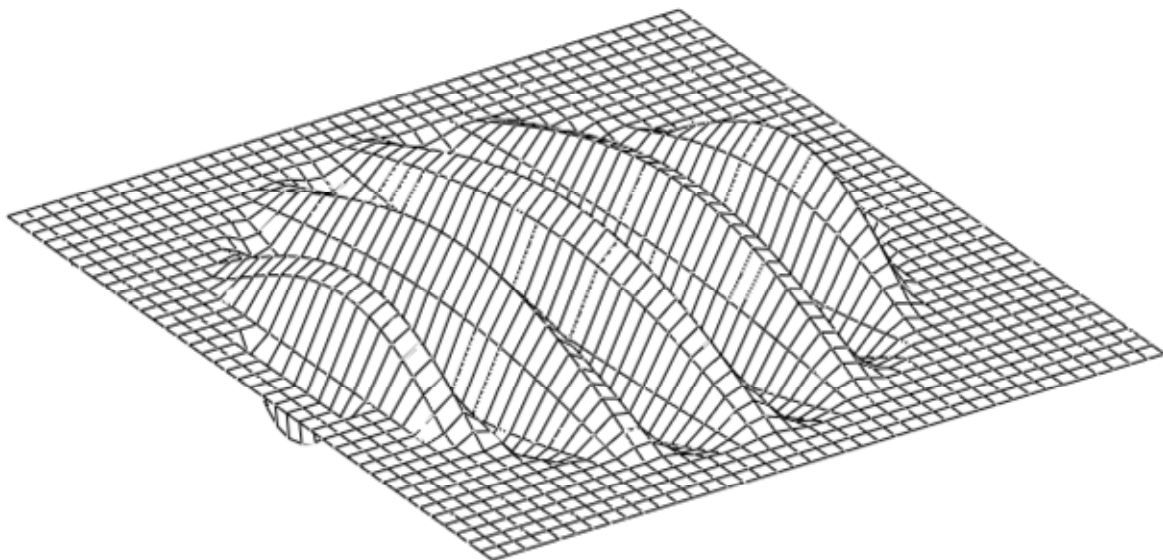


Рис. 6. Форма зразка листового матеріалу в процесі дослідження

Умова недопущення появи поперечних хвиль втрати стійкості

$$0,25 \lambda \theta k^2 - \beta \leq 0$$

У разі порушення цієї умови, кількість хвиль втрати стійкості визначається рішенням бікватратних рівняння

$$j = \sqrt{0,5 \beta \lambda \theta k} - \sqrt{0,25 (\beta \lambda \theta k)^2 - \beta^3 \lambda \theta} \quad (12)$$

Залежність від кількості хвиль втрати стійкості показана на рисунку 7.

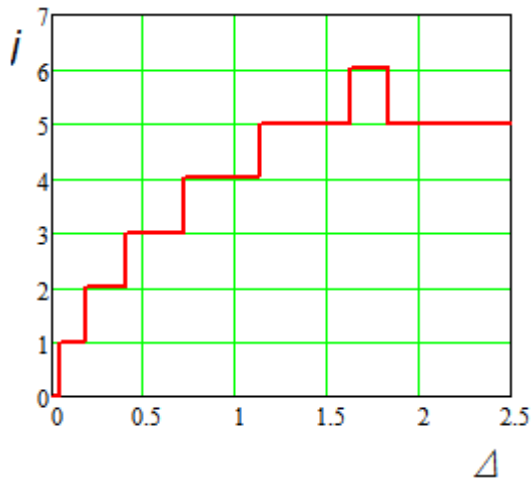


Рис. 7. Залежність кількості хвиль втрати стійкості від зсуву кордону листового матеріалу

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розробок

В результаті роботи одержані явні залежності для призначення умов проведення експериментів для визначення механічних характеристик листових матеріалів, що забезпечують проведення іспитів з мінімальними похибками і передбачають неможливість появи втрат поперечних хвиль втрати стійкості, що може використовуватись для вдосконалення існуючих стандартів.

Отримані явні залежності між конструктивними параметрами листового матеріалу (довжина, ширина, товщина), технологічними (зусилля натягу, технологічне зміщення кордону), механічними характеристиками і параметрами втрати стійкості, які можуть передбачати побічні ефекти і рекомендувати параметри процесів для їх запобігання.

Література

1. ГОСТ Р ИСО 3759-99 – Материалы текстильные. Подготовка, нанесение меток и измерение проб текстильных материалов и одежды при испытании по определению изменений линейных размеров. Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2011. – 4 с.
2. ГОСТ 29104.9-91 – Ткани технические. Метод определения изменения размеров в горячем воздухе. Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1991. – 7 с.
3. ГОСТ 15902.3-97 – Полотна нетканые. Методы определения прочности. Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 6 с.
4. ГОСТ 29104.22-91 – Ткани технические. Метод определения компонентов полного удлинения при растяжении нагрузкой, меньше разрывной. Межгосударственный стандарт. М.: ИПК Издательство стандартов, .–1991. – 4 с.
5. ГОСТ 29104.4-91 – Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве Межгосударственный стандарт. М.: ИПК Издательство стандартов, 1991. – 7 с.
6. А.А. Бизюков, Вакуум-плазменное нанесение покрытий на рулонные материалы / А.А. Бизюков, В.В. Бобков, Д.Л. Рябчиков, Н.Л. Рябчиков, А.Ф. Целуйко, Н.Н. Юнаков // Вопросы атомной науки и техники. Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 1998. – Выпуск 4(5), 5(6). – С.93-95.
7. Рябчиков Н.Л. Система подготовки требований к качеству намотки рулонов / Н.Л. Рябчиков, С.В. Чельшева // Информационные технологии. Наука, техника, технология, образование, здоровье. – Харьков: Министерство образования Украины, ХГПУ, 1998. – С. 303-306.
8. Толкунова Н.М. Испытание текстильных материалов / Н.М. Толкунова, Е.Н. Чернов, И.Е. Гончарова. – М.: Легпромбытиздат, 1993г. – 224 с.

References

1. GOST R ISO 3759-99 – Materialy \ teksil \ ny \ e. Podgotovka, nanesenie metok i izmerenie prob tekstil \ ny \ x materialov i odezhdy \ pri ispy \ tanii po opredeleniyu izmenenij linejny \ x razmerov. Mezghosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 2011. 4 p.
2. GOST 29104.9-91 – Tkani texnicheskie. Metod opredeleniya izmeneniya razmerov v goryachem vozduxe Mezghosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 1991. 7 p.
3. GOST 15902.3-97 – Polotna netkany \ e. Metody \ opredeleniya prochnosti. Mezghosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 1997. 6 p.
4. GOST 29104.22-91 – Tkani texnicheskie. Metod opredeleniya komponentov polnogo udlineniya pri rastyazhenii nagruzkoj, men \ she razry \ vnoj. Mezghosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 1991. 4 p.
5. GOST 29104.4-91 – Tkani texnicheskie. Metod opredeleniya razry \ vnoj nagruzki i udlineniya pri razry \ ve. Mezghosudarstvenny \ j standart. M.: IPK Izdatel \ stvo standartov. 1991. 7 p.
6. A.A. Bizyukov, V.V. Bobkov, D.L. Ryabchikov, N.L. Ryabchikov, A.F. Celujko, N.N. Yunakov. Vakuum-plazmennoe nanesenie pokry \ tij na rulonny \ e materialy \ // Voprosy \ atomnoj nauki i tekhniki. Vakuum, chisty \ e materialy \ , sverxprovodniki. – Xar \ kov: NNC XFTI. – 1998. – Vy \ pusk 4(5), 5(6). – pp.93-95.
7. Ryabchikov N.L., Chely \ sheva S.V. Sistema podgotovki trebovanij k kachestvu namotki rulonov // Informacionny \ e tehnologii. Nauka, texnika, tehnologiya, obrazovanie, zdorov \ e. – Xar \ kov: Ministerstvo obrazovaniya Ukrainy \ , XGPU, – 1998. – pp. 303-306.
8. Tolkunova N.M., Chernov E.N., Goncharova I.E. Ispy \ tanie tekstil \ ny \ x materialov – M.: Legpromby \ tizdat, 1993. – 224 p.

Рецензія/Peer review : 24.4.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Романкевич О.В.

П.А. БАРАБАШ, Я.Е. ТРОКОЗ

Национальный технический университет Украины «КПИ»

В.Я. ГОРИН, В.В. ГОРИН

Коростенский завод химического машиностроения «Химмаш»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООТДАЧИ ПОТОКА ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТРУБАХ С ПРОДОЛЬНОМ ОРЕБРЕНИЕМ

В работе приведена методика расчета гидравлического сопротивления и коэффициента теплоотдачи потока природного газа в трубах с продольным оребрением, выполнен анализ расчетных и экспериментальных данных и разработана оптимизация параметров внутреннего продольного профилирования труб.

На основе анализа проведенных теоретических и экспериментальных исследований определены оптимальные параметры продольного профилирования труб для аппаратов воздушного охлаждения с учетом технологических возможностей при изготовлении оребренной внутренней поверхности труб методом холодного проката с последующим, безоправочным волочением.

Ключевые слова: аппараты воздушного охлаждения, гидродинамика, теплоотдача, продольно-оребренная труба, оптимальные параметры оребрения труб.

P.A. BARABASH, YA.E. TROKOZ

National technical university of Ukraine "KPI"

V.YA. GORIN, V.V. GORIN

Korosten plant of chemical mechanical engineering "Himmash"

THE METHOD OF CALCULATION AND THE RESULTS OF THE STUDY OF HEAT TRANSFER FLOW OF NATURAL GAS IN PIPES WITH LONGITUDINAL FINS

Methodology over of calculation of hydraulic resistance and coefficient of heat emission of stream of natural gas is in-process brought in pipes with longitudinal opebrenuem, the analysis of calculation and experimental data is executed and optimization of parameters of the internal longitudinal profiling of pipes is worked out.

On the basis of analysis undertaken theoretical and experimental studies the optimal parameters of the longitudinal profiling of pipes are certain for the vehicles of the air cooling taking into account technological possibilities at making of the longitudinal profiling of internal surface of pipes by the method of cold rent with the subsequent dragging without mounting..

Keywords: vehicles of the air cooling, hydrodynamics, heat emission, продольно-оребренная pipe, optimal parameters of opebreniya of pipes.

Введение

Интенсификация процессов теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения (АВО), которые нашли широкое применение на газокomppressorных станциях, является актуальной задачей с точки зрения снижения их металлоемкости.

В настоящее время в АВО применяют биметаллические трубы с наружным внутренним оребрением и с гладкой внутренней поверхностью.

Соотношение коэффициентов теплоотдачи с наружной и внутренней стороны этих труб таково, что имеет прямой смысл интенсификация теплоотдачи с внутренней стороны биметаллических труб.

Одним из возможных путей решения этой задачи является применение продольного оребрения на внутренней поверхности рассматриваемых труб.

На основании предварительных расчетов, включающих в себя изучение современного состояния вопроса об интенсификации конвективного теплообмена при движении теплоносителя внутри труб [1], разработанных методики проведения исследований теплообмена [2] и методики расчета гидравлического сопротивления и коэффициента теплоотдачи потока природного газа в трубах с продольным оребрением (см. ниже), получены оптимальные параметры профилирования с точки зрения теплопередачи и затрат на их изготовление (рис. 1).

Расчетные параметры внутреннего оребрения труб имели следующие геометрические размеры: наружный диаметр трубы - , внутренний диаметр трубы (диаметр основания ребер) - $D_{вн} = 21 \text{ мм}$, профиль ребра - треугольный, толщина ребра в основании - $d_{0,онт} = 1,0 \text{ мм}$, высота ребра - $h_{онт} = 2,2 \text{ мм}$, количество ребер - $N = 24 \text{ шт}$.

На основе полученных расчетных параметров оребрения и технологических возможностей оборудования, были изготовлены стальные базовые трубы ($\lambda = 50 \text{ Вт/м К}$) АВО с внутренним продольным оребрением, параметры которого максимально близки оптимальному оребрению (рис.2). Трубы изготавливались методом холодного проката с последующим, безоправочным волочением и имели следующие геометрические параметры внутреннего оребрения: наружный диаметр трубы - $D_{н} = 25 \text{ мм}$, внутренний диаметр трубы (диаметр основания ребер)- $D_{вн} = 23 \text{ мм}$, профиль ребра - треугольный, толщина ребра в основании - $d_{0,онт} = 1,5 \text{ мм}$, высота ребра - $h_{онт} = 1,7 \text{ мм}$, количество ребер - $N = 24 \text{ шт}$.

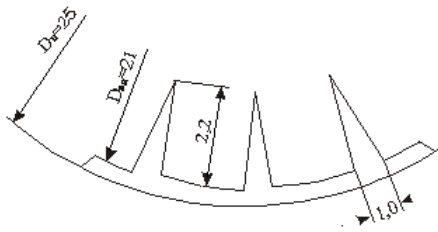


Рис. 1. Поперечное сечение трубы с расчетными оптимальными параметрами профилирования

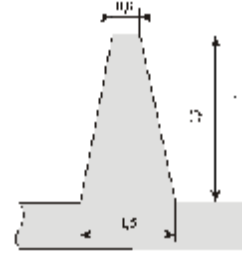


Рис. 2. Профиль реального ребра трубы

В связи с отклонением полученных параметров профилирования от расчетных, возникла необходимость провести теплотехнические испытания полученных профилированных труб и сравнить полученные экспериментальные данные по теплообмену для труб с реальным профилем ребер с расчетными (определенными по разработанной методике) для этого же профиля.

В данной работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных с целью изучения теплообмена и гидродинамики в трубах с продольным профилированием. На основе анализа полученных результатов уточнены оптимальные параметры (количество ребер N) для реального профиля ребра внутреннего продольного профилирования биметаллических труб АВО.

1. Методика расчета гидравлического сопротивления и коэффициента теплоотдачи потока природного газа в трубах с продольным оребрением

Гидравлические сопротивления делятся на сопротивления по длине и местные сопротивления. Ниже приводится методика расчета сопротивления и потери напора по длине труб с продольным оребрением при течении в них потока природного газа.

В соответствии с [3] при равномерном движении рабочего тела удельные потери напора по длине dH/L в каналах равны:

$$\frac{dH}{L} = \frac{t_o}{r g R}, \quad (1)$$

где ρ – плотность рабочего тела; g – ускорение свободного падения; R – гидравлический радиус. Касательные напряжения на стенках канала определяются по эмпирической зависимости [3]:

$$t_o = r \frac{l}{8} W^2, \quad (2)$$

где l – гидравлический коэффициент трения; W – среднерасходная скорость рабочего тела. Подставляя уравнение (2) в (1), окончательно получаем:

$$\frac{dH}{L} = \frac{l W^2}{8 R g}. \quad (3)$$

Таким образом, для определения потерь напора по длине канала необходимо иметь величину гидравлического коэффициента трения l .

Существуют эмпирические формулы [4] для определения гидравлического коэффициента трения l в зависимости от того в какой из трех областей гидравлических сопротивлений реализуется процесс течения рабочего тела в трубах.

Для потока природного газа в трубах АВО реализуется область гидравлических сопротивлений, получившая название области гидравлически шероховатых труб, когда выступы шероховатости труб (величина эквивалентной шероховатости стальных сварных труб $<_{\text{экв}}$ составляет 0,1 мм [4]) выходят за пределы вязкого подслоя. В этой области, которая характеризуется тем, что $Re <_{\text{экв}} / D > 500/D$ (D – диаметр), отрывное обтекание выступов сводит сопротивление трения к сопротивлению обтекания тел с резкими изменениями их конфигурации, которое не зависит от скорости протекания рабочего тела в канале.

Коэффициент трения l для гидравлически шероховатых труб определяется по зависимости [4]:

$$l = \frac{1}{4 \left(\lg \frac{3,7D}{<_{\text{экв}}} \right)^2}. \quad (4)$$

1.1 Последовательность расчета потери напора по длине труб с продольным оребрением при течении в них потока природного газа

Согласно [4] турбулентное течение потока рабочего тела для труб с формами поперечных сечений,

близкими к круглой (круг с одним или двумя пазами на внутренней поверхности стенок, звездообразная форма) коэффициент сопротивления l_n может быть выражен через коэффициент сопротивления труб круглого сечения l с помощью поправочного коэффициента k_n :

$$l_n = l k_n, \quad (5)$$

где l рассчитывается при тех же числах $Re = w D/n = w D_r/n$.

Далее по формуле (4) определяем величину гидравлического коэффициента трения l и принимаем его, согласно зависимости (5), равным l_n для продольно-оребрённых труб.

Определяем длину начального гидродинамического участка [3]:

$$l_n = D \left(\frac{0,45}{l} + 8,7 \right). \quad (6)$$

и подсчитываем величину:

$$l_{кр} = 20 \left(\frac{l_n}{l} - 1 \right) l_n. \quad (7)$$

В данном случае результаты расчета $l_{кр}$ по зависимости (7), проведенные для гладкой трубы, дают значение $l_{кр} = 3,8 м$. Согласно [4], если длина труб в АВО $L > l_{кр}$, то влиянием начального гидродинамического участка на общие потери напора можно пренебречь.

Задаемся геометрией оребрения: шириной межреберного канала у основания ребер $2b$, высотой ребер h , шириной торцов ребер $2d_m$ и количеством ребер N .

При этом необходимо помнить об условии перехода в межреберном канале турбулентного режима течения в ламинарный (наблюдался при $2b/h \leq 0,2$ и числе $Re < 5000$, число Re определялось по среднерасходной скорости и эквивалентному диаметру всего канала).

Удельные потери напора в межреберном канале определялись по формуле (3). Для межреберного канала, с учетом того, что среднерасходная скорость течения среды W равнялась средней скорости по осевому сечению межреберного канала [1] и $l \approx 0,03$, зависимость принимает вид:

$$\left(\frac{dH}{L} \right)_k = \frac{0,03 w_{o,k}^2}{4 g d_{эк}}, \quad (8)$$

где $d_{эк} = 4bh/(b+h)$.

Аналогично по зависимости

$$\left(\frac{dH}{L} \right)_r = \frac{0,03 w_{o,r}^2}{4 g d_{э,о}}, \quad (9)$$

определялись удельные потери напора на торце ребра ($d_{э,о}$ – диаметр между торцами ребер), а по зависимости

$$\left(\frac{dH}{L} \right) = \frac{\left(\frac{dH}{L} \right)_k (b+h) + \left(\frac{dH}{L} \right)_r d_r}{b+h+d_r}, \quad (10)$$

определялась средняя по периметру оребренной трубы величина удельных потерь напора.

Учитывая, что $dH = DP/(rg)$, искомая величина потери давления от трения в продольно-оребрённых трубах АВО при течении в них потока природного газа определялась по зависимости:

$$DP = \left(\frac{dH}{L} \right) r g L. \quad (11)$$

1.2 Последовательность расчета коэффициента теплоотдачи потока природного газа при течении его в трубах с продольным оребрением

Средний по периметру оребренной трубы коэффициент теплоотдачи α определялся по ниже приведенному алгоритму [1]:

$$\bar{\alpha} = (\bar{\alpha}_{ст} + \bar{\alpha}_p h + \bar{\alpha}_r d_r) / (b + h + \delta_r), \quad (12)$$

где $2\delta_r$ – толщина ребра на его торце.

Средний коэффициент теплоотдачи на стенке трубы между ребрами $\alpha_{ст}$ определялся по зависимости

$$\bar{Nu}_{ст} = 0,0144 (2b/h)^{0,63} Re_k^{0,8} Pr^{0,43}, \quad (13)$$

при этом $Nu_{cm} = \bar{\alpha}_{cm} d_{эк} / l$.

По следующим формулам определялись средние коэффициенты теплоотдачи по высоте ребра α_p и на торце ребра α_t :

$$\overline{Nu}_p = 0,0158 Re_k^{0,8} Pr^{0,43}, \quad (14)$$

$$\overline{Nu}_t = 0,021 Re_o^{0,8} Pr^{0,43}. \quad (15)$$

где $Nu_{cm} = \overline{a}_{cm} d_{эк} / l$, $Nu_T = a_T d_{эк} / l$.

Диапазон применения в (1.8) $Re_o = w d_{эк} / \nu = 65000 \dots 240000$, а в (10) и (11) $Re_k = w_{ок} d_{эк} / \nu = 5000 \dots 100000$.

2. Анализ расчетных и экспериментальных данных

Исследования теплообмена потока рабочего тела в трубах с продольным оребрением проводились в лабораторных условиях, которые не позволили использовать природный газ в качестве теплоносителя для опытной установки. Методика проведения исследований описана в работе [2].

В качестве теплоносителя при проведении экспериментов использовалась вода, физические параметры которой позволяют достичь, для данных геометрических характеристик трубы, необходимые, согласно требований теории подобия [5], значения величин чисел Re и Pr (скорость движения в трубе – до 3,5 м/с, температура нагрева – до 50°C), вписывающихся в диапазон применения приведенных зависимостей (12-15) расчета среднего по периметру оребренной поверхности коэффициента теплоотдачи.

На рисунке 3 приведены результаты экспериментов по определению средних коэффициентов теплоотдачи от внутренней поверхности продольно-профилированной трубы к воде, текущей внутри нее.

Видно, что с ростом скорости воды коэффициент теплоотдачи a растет, что характерно для турбулентного режима течения жидкости.

Для иллюстрации проверки изложенной выше методики расчета на этом же рисунке приведен график, построенный по формулам (1.8)-(1.11), для таких же, как в эксперименте, чисел Re (4050 ÷ 5600 – для межреберного канала и 6600 ÷ 93500 – для основного потока) и средней температуры жидкости (40°C).

Видно, что экспериментально полученные значения a удовлетворительно согласуются с расчетными (разброс значений не превышает).

Таким образом, есть все основания полагать (см. условия подобия физических процессов [5]), что расчетные зависимости принятой модели теплообмена справедливы и могут в дальнейшем использоваться при оптимизации параметров профилирования.

Зависимость расчетного коэффициента теплоотдачи, отнесенного к полной поверхности профилированной трубы, от скорости движения газа W при различном количестве ребер N приведена на рисунке 4.

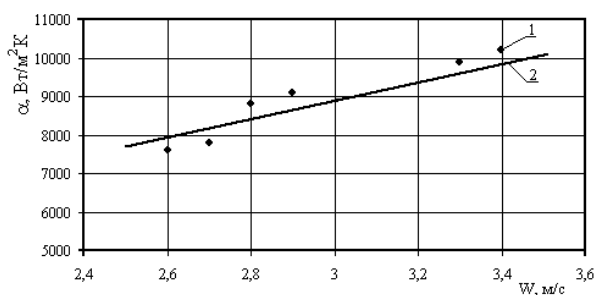


Рис. 3 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости движения воды W : 1 – экспериментальные данные, 2 – теоретические данные.

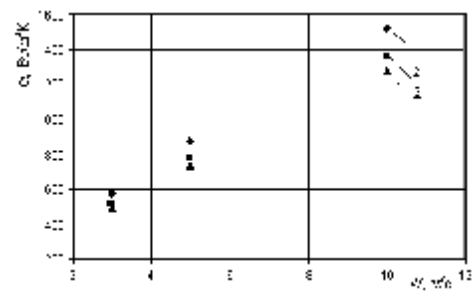


Рис. 4 – Зависимость расчетного коэффициента теплоотдачи, отнесенного ко всей поверхности профилированной трубы, от скорости движения газа W : 1 – $N=16$; 2 – 20; 3 – 24.

Видно расслоение коэффициента теплоотдачи a от количества ребер N . Коэффициент теплоотдачи a для $N=16$ выше a для $N=20$ и 24 (соответственно на ≈ 10 и 16%), что объясняется увеличением тормозящего эффекта в межреберном пространстве профилированных труб при возрастании N .

Сравнение отнесенных к поверхности гладкой трубы расчетных коэффициентов теплоотдачи для гладкой и профилированных труб приведено на рисунке 5.

Видно, что экстенсивный фактор (разный при $N = var$ коэффициент оребрения) устранил расслоение значений a , наблюдавшееся в приведенном рис. 3, а теплоотдача для профилированных труб на $\approx 45\%$ выше чем у гладкой трубы (a для последней определялся по эмпирической зависимости (1.12)). Разный угол наклона значений $a = f(W)$ объясняется, по-видимому, различными величинами постоянных в зависимостях (1.9), (1.10) и (1.12) (тормозящим эффектом в межреберных каналах).

Картина сравнения продольно профилированных труб с гладкой была бы не полной без учета

изменения гидравлического сопротивления в них.

На приведенном рис.6 представлены расчетные данные по изменению удельного сопротивления указанных труб в функции скорости газа W .

Видно, что удельное сопротивление продольно профилированных труб выше чем в гладкой (например, на $\approx 900 \text{ Па}$ для трубы с 20 ребрами при номинальной скорости газа $W = 7,5 \text{ м/с}$). Для гидравлически шероховатых труб этот факт объясняется, по-видимому, развитием поверхности в профилированных трубах, что требует экспериментального подтверждения.

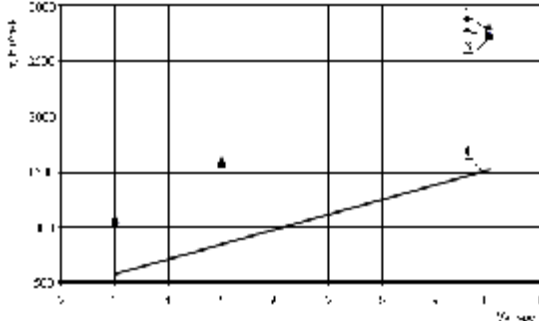


Рис. 5 – Зависимость расчетного коэффициента теплоотдачи, отнесенного к поверхности гладкой трубы, от скорости движения газа W : 1 – $N = 16$, 2 – $N = 20$, $N = 24$, $N = 0$.

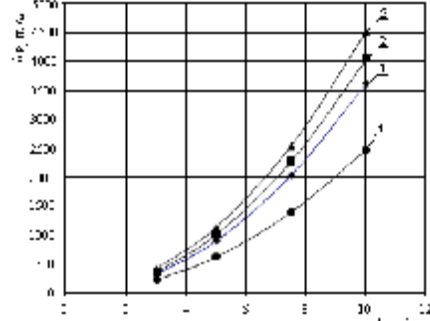


Рис. 6 – Зависимость расчетного удельного сопротивления от скорости движения газа W : 1 – $N = 16$, 2 – $N = 20$, $N = 24$, $N = 0$.

3. Оптимизация параметров внутреннего продольного профилирования труб

Оптимизация параметров продольного профилирования проходила в две стадии:

- 1) определение формы (профиля) и размеров ребра;
- 2) определение оптимального количества ребер по периметру трубы.

Известно, что [6, 7] профиль ребра, обеспечивающий максимальный теплообмен при минимальной массе это – профиль, образованный двумя дугами окружности. Такое ребро и ребро с профилем треугольного сечения по массе различаются мало (4%). По технологическим причинам проще изготовить ребро треугольного сечения, а чаще, с усеченной вершиной.

При заданной в АВО плотности теплового потока $Q_{L,0}$, для треугольного профиля ребра, толщину ребра в основании его и высоту, при которых площадь его поперечного сечения (пропорциональна массе) минимальны, можно определить по формулам из [7]:

$$S_{onm} = \frac{0,348}{a^2 l} \left(\frac{Q_{L,0}}{J_0} \right)^3, d_{0,onm} = \frac{0,826}{a l} \left(\frac{Q_{L,0}}{J_0} \right)^2, h_{onm} = \frac{2 \cdot S_{onm}}{d_{onm}}$$

где $d_{0,onm}$ – толщина ребра в основании,
 S_{onm} – площадь поперечного сечения ребра,
 $Q_{L,0}$ – тепловой поток через основание ребра,
 a – коэффициент теплоотдачи,
 l – коэффициент теплопроводности материала ребра,
 J_0 – температурный напор в основании ребра.

На основе наших рекомендаций и технологических возможностей продольного профилирования внутренней поверхности труб методом холодного проката с последующим безоправочным волочением, был получен реальный профиль для стальных труб ($l = 50 \text{ Вт/м К}$) АВО с параметрами, максимально приближающимися к оптимальным (см. рис.2):

$$d_{0,onm} = 1,5 \text{ мм}, d_{h,onm} = 0,6 \text{ мм}, h_{onm} = 1,7 \text{ мм}.$$

С увеличением числа ребер N по периметру трубы теплопередающая способность трубы будет расти (количество тепла с погонного метра трубы), но в то же время будет расти масса трубы. Таким образом, рост теплопередачи происходит за счет увеличения количества ребер (массы оребренной трубы). Кроме того, увеличение количества ребер по периметру трубы при неизменном диаметре основания ребер, приводит к уменьшению межреберного расстояния, что в свою очередь приводит к уменьшению локальных значений коэффициентов теплоотдачи на боковых поверхностях ребер и поверхности трубы между ребрами. Параметр, учитывающий увеличение теплопередающей способности биметаллической трубы с профилированной трубой по сравнению с биметаллической трубой, но с гладкой базовой трубой (положительный эффект) и увеличение массы базовой трубы при профилировании (отрицательный эффект) определяется по формуле

$$C_{I,M} = \frac{C_I}{C_M}$$

где $C_I = \frac{\bar{a}_{np}}{\bar{a}_{zl}}$,

$\bar{a}_{zl}$ - коэффициент теплоотдачи внутри гладкой базовой трубы диаметром равным $D_{вн}$, отнесенный к внутренней ее поверхности;

$\bar{a}_{np}$ - коэффициент теплоотдачи внутри профилированной базовой трубы, отнесенный к внутренней поверхности гладкой трубы с диаметром равным основанию ребер $D_{вн}$;

$$C_M = \frac{M_{np}}{M_{zl}},$$

M_{np} - масса 1 п.м профилированной базовой трубы;

M_{zl} - масса 1 п.м гладкой базовой трубы.

Авторами проведены расчеты величины комплексного параметра $C_{I,M}$ в зависимости от числа ребер N с целью определения их оптимального числа, когда максимальная интенсификация теплопередачи достигается за счет минимально возможного увеличения количества ребер. На рисунке 7 показаны графики (линии), (справедливы для воды и газа ввиду относительности величины C_1), построенные по расчетным зависимостям $C_I = F(N)$, $C_M = F(N)$ и $C_{I,M} = F(N)$, а также опытные данные тестовых испытаний авторов. Из анализа рисунка 7 видно, что максимуму функции $C_{I,M} = F(N)$ (оптимум) соответствует значение $N = 20$.

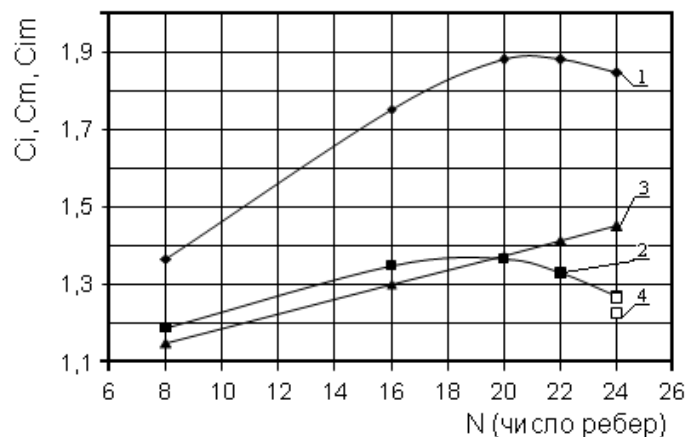


Рис. 7 – Расчетные и экспериментальные зависимости:

1 - $C_I = F(N)$, 2 - $C_{I,M} = F(N)$, 3 - $C_M = F(N)$, 4 - эксперимент.

Выводы

1. Разработана методика расчета процесса теплоотдачи в продольно профилированных трубах АВО при течении в них теплоносителя. Достоверность методики расчета подтверждена экспериментальными данными.

2. На основе анализа проведенных теоретических и экспериментальных исследований определены оптимальные параметры продольного профилирования труб для аппаратов воздушного охлаждения с учетом технологических возможностей при изготовлении продольного профилирования внутренней поверхности труб методом холодного проката с последующим, безоправочным волочением.

3. Коэффициент теплоотдачи (отнесенный к поверхности гладкой трубы) при движении теплоносителя внутри труб с полученным профилем больше в 1,8 раза чем для гладкой трубы. Применение внутреннего продольного профилирования биметаллических труб аппаратов воздушного охлаждения для стальных базовых труб ($\lambda = 50$ Вт/м К) с параметрами, максимально приближающимися к оптимальным (табл. 1) позволит увеличить теплопередачу в 1,3...1,4 раза при увеличении массы трубы за счет профилирования не более чем на 10%.

Таблица 1

Параметры внутреннего оребрения

Наружный диаметр трубы D_n , мм	Внутренний диаметр трубы $D_{вн}$, мм	Высота ребра $h_{онт}$, мм	Толщина ребра в основании $d_{0,онт}$, мм	Толщина ребра в вершине $d_{h,онт}$, мм	Число ребер N , шт.
25	21	1,7	1,5	0,6	20

Литература

1. Барабаш П.А., Состояние вопроса о гидродинамике и теплообмене турбулентного потока рабочего тела внутри труб. / П.А. Барабаш, В.В. Горин, Я.Е. Трокоз // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2014. – Вип. 44. – С. 103 – 110.
2. Барабаш П.А. Стенд и методика проведения исследований теплообмена потока рабочего тела в трубах с продольным оребрением / А.Б. Голубев, В.В. Горин, Я.Е. Трокоз // Зб. наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2014. – № 2(5). – С. 95– 96.
3. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А.Большакова. – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.
4. Идельчик И.Е. Справочник: Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
5. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
6. Эккерт Э.Р. Теория тепло-и массообмена / Э.Р. Эккерт, Р.М. Дрейк. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.
7. Ройзен Л.И. Тепловой расчет оребренных поверхностей / Л.И. Ройзен, И.Н. Дулькин. – М.: Энергия, 1972. – 256 с.

References

1. Barabash P.O. Sostoyanie voprosa o gidrodinamike i teploobmene turbulentnogo potoka rabocheho tela vnutri trub / P.A. Barabash, V. V. Gorin, Ya. E. Trokoz // Zagal'noderzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-technichniy zbiryk naukovykh prats Kirovograds'kogo natsional'nogo technichnogo universitetu. – 2014. - № 44. – S. 103-110.
2. Barabash P.O. Stend i metodika provedeniya issledovaniy teploobmena rabocheho tela v trubax s prodol'ny'm orebreniem / P.A. Barabash, A.B. Golubev, V. V. Gorin, Ya. E. Trokoz // Zbirnyk naukovykh prats' Odes'koi akademii tekhnichnogo regulvannya ta yakosti. – 2014. - № 2 (5). – S. 95-96.
3. Spravochnik po gidravlike. Ed. By V.A. Bol'shakov. Kiev, Vyshcha shkola, 1984, 343 s.
4. Idel'chik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam : Spravochnik / I. E. Idel'chik. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 559 s.
5. Isachenko V.P. Teploperedacha. Moscow, Energoizdat, 1981, 416 s.
6. E'kkert E'R., Drejk R.M. Teoriya teplo- i massobmena. Moscow, Gosenergoizdat, 1961, 680 s.
7. Rojzen L.I., Dul'kin I.N. Moscow, Energiya, 1972, 256 s.

Рецензія/Peer review : 27.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 13.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РОТАЦІЙНИХ ЧОВНИКОВИХ КОМПЛЕКТІВ НА БАЗІ КОНСТРУКЦІЙНИХ РІШЕНЬ

Проведено дослідження систем технічних рішень човникових пристроїв, які направлені на забезпечення відповідності сучасним технологічним та експлуатаційним характеристикам швейного обладнання. Визначено найбільш характерні та запропоновано перспективні напрямки розвитку конструкцій човників. Встановлені основні елементи конструкції, які визначають працездатність човникового комплекту.

Ключові слова: човниковий пристрій, шпулетримач, човник.

E.A.MANZIUK, P.H. KAPUSTENSKIY

Khmelnitskiy National University, Khmelnytskyi, Ukraine

IMPROVING EFFICIENCY ROTARY HOOKS ON BASED CONSTRUCTION

Abstract - Development of technical solutions improving efficiency rotary hooks aimed at ensuring that modern technological and operational characteristics sewing equipment.

Based construction methods and technical solutions laid shuttle changing design kit to improve performance and reliability. Draw analysis of the most characteristic structural solutions that summarize development approaches shuttle devices. Particular attention is given to approaches that allow you to adjust the magnitude of the gap between the shuttle and the bobbin case.

The analysis of construction methods to increase efficiency shuttle sets that allowed to identify and summarize the typical areas of technical solutions.

Keywords: rotary hook, sewing shuttle

Постановка проблеми

Човниковий комплект є технологічно необхідним елементом конструкції швейної машини. Основне його технологічне призначення полягає в тому, що він здійснює переплетення верхньої голкової і нижньої ниток в процесі утворення стібка, яке є найбільш складним та відповідальним процесом.

На сьогоднішній день існує широке різноманіття човникових пристроїв, які використовуються у швейних машинах [1–6]. Вони відрізняються принципом роботи, характеристиками руху, розташуванням відносно голки, конструкційним оформленням та інше. Це обумовлено комплексом задач, виконання яких необхідно забезпечити при роботі човникових комплектів [6, 7]. Основні з них полягають у працездатності, надійності роботи комплекту та підпорядкування їх головному технологічному призначенню.

Найбільш широке застосування в промислових швейних машинах знайшли ротаційні (оберткові) човникові комплекти з горизонтальною віссю обертання [4], які використовуються також і у побутових швейних машинах.

Типові конструкції ротаційних човникових комплектів досить докладно описані літературі [5–7]. Проте типові конструкції із розвитком технології шиття, введенням нових матеріалів, не відповідають вимогам, які ставляться до швейного обладнання. Розширення парку швейних машин та подальша їхня спеціалізація вимагає удосконалення конструкцій човникових комплектів у відповідності до технологічних вимог. Результати досліджень з питань механіки човникових комплектів можна умовно розділити на два основні напрямки: конструкційний, який ґрунтується на зміні конструкції човникового комплекту, введення допоміжних елементів; технологічний, який ґрунтується на зміні трибохарактеристик поверхонь тертя шляхом використання нових матеріалів, нових методів зміцнення поверхонь тертя, заміною мастила, режимів змащування та інше.

Формулювання цілі статті

Розробка технічних рішень підвищення працездатності ротаційних човникових комплектів, які направлені на забезпечення відповідності сучасним технологічним та експлуатаційним характеристикам швейного обладнання.

Виклад основного матеріалу

В основу конструкційних методів та технічних рішень покладено зміну конструкції човникових комплектів з метою підвищення працездатності і надійності роботи. Проведемо аналіз найбільш характерних конструкційних рішень, які дозволяють узагальнити підходи розробки човникових пристроїв.

Особлива увага приділяється підходам, які дозволяють регулювати величину зазору між човником та шпулетримачем. Так, можливість дискретного регулювання зазорів реалізована у патенті [8]. У швейний гачок введено серпоподібну пружину. Регулювання радіального і аксіального зазорів виконується стопорними гвинтами, які розташовані по периметру швейного гачка.

Подальший розвиток можливості дискретного регулювання було реалізовано у конструкції [9] (рис. 1), яка містить комплект для з'єднання шпулетримача з швейним гачком. Комплект має спіральну хвилясту пружину, упори, які вмонтовані у шпулетримач. Пружина розміщена всередині розрізного кільця-пояска, яке має U-подібний поперечний переріз. Розрізне кільце за рахунок пружних сил, які діють у радіальному напрямку, притискається до стінок трикутного паза швейного гачка, вибираючи при цьому

радіальний і аксіальний зазори.

Елементи човникового комплексу є складними, а отже дорогими у виготовленні. Зношені елементи необхідно замінювати. На практиці замінюють увесь човниковий комплект. Однак зношується не уся деталь, а тільки її робоча частина. Тому перспективним є використання блочно-модульного принципу конструювання комплектів.

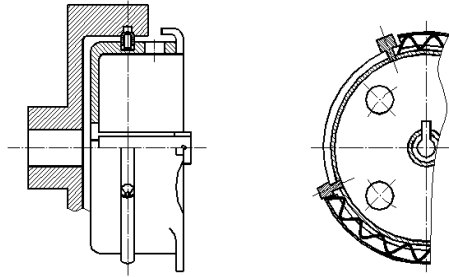


Рис. 1. Човниковий комплект [9]

Так елемент конструкції, який найшвидше зношується формує окрему, просту за формою деталь, яку виготовляють з високоміцного матеріалу. Носик швейного гачка може виготовлятися із сталі, а корпус із полімерного матеріалу [10], зворотній носик накладної пластини виготовляється змінним і регульованим [11], або на робочій частині корпуса закріплюються зносостійкі накладні пластини [12, 13] (рис. 2). Оскільки спраження швейний гачок-шпулетримач швидко зношується, конструкційно виділяється в

окрему деталь як обідок шпулетримача [14] (рис. 3), так і розділюється на дві деталі швейний гачок, який містить паз [15].

Найбільш часто розділюють на окремі деталі шпулетримач, в якому обідок виготовляють розрізним [14], який закріплюється на поверхні шпулетримача гвинтами [16], нерозрізним [17] (рис. 4), або виготовляється з частиною збірної конструкції шпулетримача [18, 19] (рис. 5).

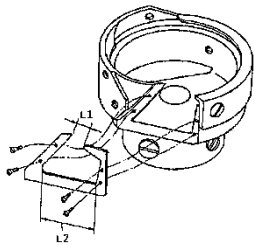


Рис. 2. Швейний гачок з накладними пластинами [14]

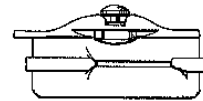


Рис. 3. Шпулетримач із змінним обідком [15]

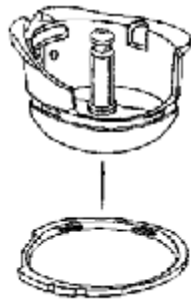


Рис. 4. Шпулетримач із змінним обідком [17]

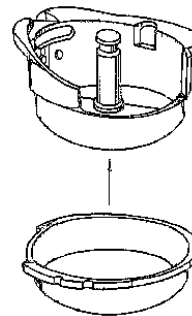


Рис. 5. Збірний шпулетримач [19]

Суттєвим недоліком такого рішення є погіршення надійності роботи комплексу, яке пов'язане із наявністю зазорів у з'єднаннях шпулетримача, і призводить до заклинювання нитки в човниковому пристрої. Цього недоліку позбавлене технічне рішення, в якому частини шпулетримача виготовляють з різних матеріалів. Ці частини з'єднуються методом склеювання, зварювання та інше. Замінювати в даному випадку необхідно весь шпулетримач, а не його складову конструкційну частину. Блочно-модульний принцип конструювання дає змогу значно здешевити виготовлення комплексу і продовжити термін його експлуатації. В цьому випадку основним недоліком є погіршення експлуатаційної надійності човникового комплексу, яке виявляється в деяких конструкційних рішеннях при застосуванні даного принципу.

Оригінальне технічне рішення, яке дає змогу забезпечити гарантований зазор між елементами спраження, подано у патенті [20] (рис. 6). Для забезпечення зазору між боковими поверхнями обідка шпулетримача і паза швейного гачка на суміжних протилежних поверхнях цих елементів встановлені малогабаритні постійні магніти. Останні виконані у вигляді накладок і розташовані таким чином, щоб їхні полюси одного знаку розташовуються один напроти одного. Це забезпечує розташування шпулетримача і швейного гачка із зазором заданої величини.

Величина зазорів визначається характеристиками магнітів, які можуть бути замінені до початку експлуатації і після визначеного часу роботи останнього. Магніти в процесі роботи можуть контактувати або бути розміщеними під шаром нейтрального металу. Робота комплексу при відносному переміщенні магнітів створює умови для генерування електрорушійної сили. Визначення її величини і вплив на процеси тертя та зношування в умовах роботи комплексу вимагає додаткових досліджень. Специфіка розподілення магнітного поля по поверхні накладок викликає в деяких випадках і взаємне притягування поверхонь.

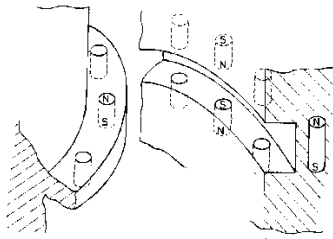


Рис. 6. Розташування магнітів у sprzęжні шпулетримач-швейний гачок [20]

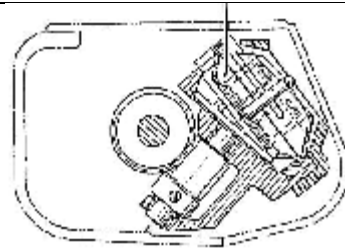


Рис. 7. Розташування човникового комплекту під кутом [21]

Розташування човникового комплекту під кутом [21-23] (рис. 7) дозволяє значно зменшити натяг верхньої голкової нитки при її обводі навколо шпулетримача. Важливою перевагою є забезпечення рівномірного навантаження на поверхні кінематичної пари швейний гачок-шпулетримач. Внаслідок перерозподілу навантаження підвищується ресурс роботи sprzęження, тому що зменшується швидкість росту радіального зазору, а інтенсивність зношування поверхонь вирівнюється як в радіальному так і в аксіальному напрямку. У звичайній конструкції працездатність човникового комплекту визначається радіальним зазором, величина якого значно перевищує аксіальний зазор. Крім того розташування човникового комплекту під кутом створює умови, при яких ліквідується осьове перекриття поверхонь тертя під час входження зуба шпулетримача під бокове напівкільце. Це дозволяє уникнути імпульсних навантажень на поверхні тертя, що покращує працездатність комплекту. Одним з методів, який дозволяє ліквідувати осьове перекриття є нахил шпульки відносно осі обертання швейного гачка. Нахил виконується таким чином, щоб зменшити, а по можливості ліквідувати момент, який створюється силою ваги відносно точки опори шпулетримача [24]. Дія цього моменту і спричинює осьове перекриття поверхонь. Необхідне ускладнення конструкції човникового комплекту і приводу веде до підвищення собівартості і складності його експлуатації, що не завжди економічно обгрунтовано.

Заміна тертя ковзання на тертя кочення у трибоспрężненні у значній мірі підвищує його працездатність. Особливо це помітно в умовах недостатнього змащування, граничного тертя, високих швидкостей роботи, в яких працює човниковий комплект. Конструкційно це вирішується розташуванням на одному з елементів sprzęження тіл кочення. У відомих конструкціях використовуються ролики, які розташовують на шпулетримачі по периметру обідка [25, 26] (рис. 8, 9). Однак таке конструкційне рішення на практиці не знайшло широкого використання. Головною причиною, яка обмежує його впровадження є висока складність і точність виготовлення такого sprzęження. Забруднення, яке можливе в умовах роботи комплекту є причиною заклинювання роликів і втрати працездатності sprzęження.

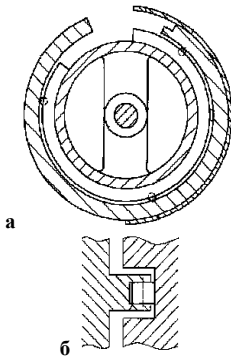


Рис. 8. Човниковий комплект [25]: а) розташування роликів; б) зазори в зоні контакту ролика

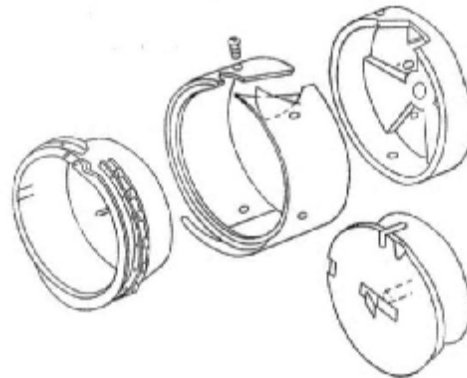


Рис. 9. Човниковий комплект [26]

Для зменшення навантаження на елементи кінематичної пари частину ваги шпулетримача, який містить шпульку з намотаною ниткою та шпульний ковпачок, можна перенести на установочний палець. Таке технічне рішення подано у патенті [27]. У запропонованій конструкції досягається більш стійке положення шпулетримача у швейному гачку за рахунок зміни форми та просторового розташування установочного пальця. Також досягається зменшення навантаження на кінематичну пару шляхом перенесення частини ваги на установочний палець.

Робота човникового комплекту супроводжується пульсуючими віброударними навантаженнями, які змінюються не тільки за величиною але і за напрямком. Величина навантажень залежить в значній мірі від положення шпулетримача у швейному гачку під час роботи швейної машини [28]. На сьогоднішній день усі відомі конструкції човникових комплектів, які знайшли широке використання мають розриви поверхонь sprzęження швейний гачок-шпулетримач, що є основною причиною виникнення ударних навантажень.

Оскільки в'язі накладені на шпулетримач є слабкими, його положення всередині швейного гачка є

нестійким. Тому при роботі човникового комплексу можливе радіальне і торцеве перекриття контактуючих поверхонь. Наслідком перекриття є виникнення імпульсних ударних навантажень, які діють на елементи кінематичної пари швейний гачок-шпулетримач, і є основною причиною їх низької працездатності за критеріями віброударної активності та зносостійкості [29, 30]. Найбільше перекриття у радіальному напрямку відбувається під час входження зуба обідка шпулетримача під носик швейного гачка. Згідно з дослідженнями В.В.Рачка [31] його величина у човниковому комплекті базової швейної машини 97 кл. досягає 0,4 діаметрального зазору. Найбільше перекриття в осьовому напрямку торцевих поверхонь під час входження зуба шпулетримача під носик швейного гачка 0,27 торцевого зазору.

Відомі технічні рішення та методи підвищення працездатності спрямовані на встановлення та формування умов орієнтації шпулетримача всередині швейного гачка таким чином, щоб виключити пульсуючі навантаження або зменшити їх величину та частоту. Встановити залежність радіального зазору від геометричних параметрів комплексу вдалося у роботі [32]. Згідно з цими дослідженнями визначальний вплив на величину перекриття має радіальний і аксіальний зазори в sprzęженні (рис. 10). Шляхом введення змін до конструкції кінематичного з'єднання вдалося зменшити величину реакції елементів sprzęження [31]. Зменшення навантажень досягається виконанням лунки на циліндричній поверхні паза швейного гачка. Це дозволяє орієнтувати шпулетримач під час перекриття поверхонь таким чином, щоб зменшити величину діючих навантажень. Автори зазначають, що ширина лунки повинна бути рівна ширині паза (рис. 11). При невиконанні цієї вимоги різко зменшується довговічність човникового комплексу.

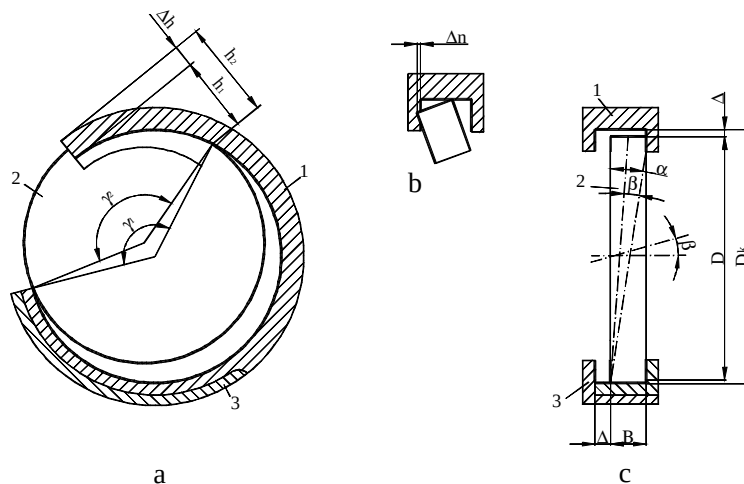


Рис. 10. Схема човникового комплексу для визначення: радіального перекриття Δh ; б) торцевого перекриття Δn ; в) кута β , b - ширина обідка шпулетримача; D_k і D_m - діаметру паза швейного гачка і обідка шпулетримача [32]

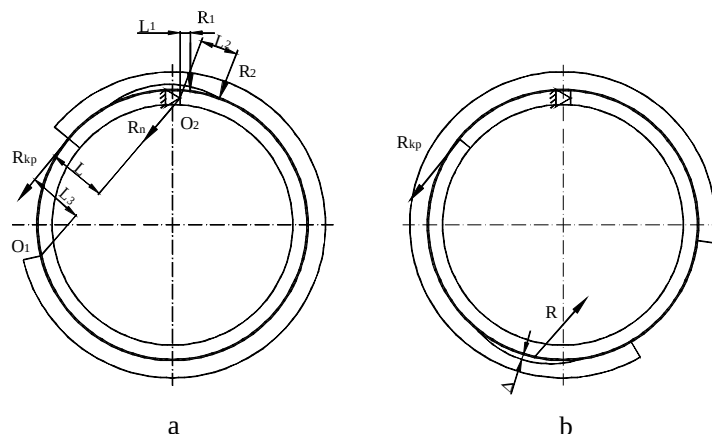


Рис. 11. Схема взаємодії деталей човникового комплексу: а) під час входження обідка шпулетримача під носик швейного гачка; б) під накладну пластину [31]

Слід виділити роботу [33], в якій автори запропонували структурну схему механізму, що імітує механізм приводу і човникового комплексу як єдину систему. Особлива цінність цього дослідження полягає в тому, що автори розглядають роботу комплексу в поєднанні з роботою приводу. Зазначається, що циклічність виникнення ударних навантажень відповідає циклічності обертання човникового вала швейної машини, величина і частота появи яких залежить від взаємного положення елементів кінематичної пари, що визначається динамічними характеристиками приводу.

Поверхні кінематичної пари можуть мати форму відмінну від звичайної конструкції. На контактних поверхнях шпулетримача і швейного гачка виконуються напрямні пази і виступи, форма і розміри яких

забезпечують зменшення коефіцієнта тертя і покращення умов обертання швейного гачка [34] (рис. 12). Для формування умов стійкого положення шпулетримача всередині швейного гачка спряження має особливу форму [35] (рис. 13), яка забезпечує кращі умови взаємодії поверхонь і більш стійке положення шпулетримача при їх зношуванні.

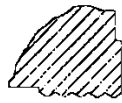


Рис. 12. Поверхня паза швейного гачка [34]



Рис. 13. З'єднання шпулетримач-швейний гачок [35]

А.І. Комісаров у дослідженні [36] зазначає, що при значних швидкостях роботи швейної машини помітні переміщення шпулетримача відносно швейного гачка. При цьому деколи утворюється зазор між пазом шпулетримача і виступом установочного пальця, в який вільно проходить верхня голкова нитка під час її обведення навколо шпулетримача. Виникнення такого явища є бажаним і багато в чому визначає надійність процесу стібкоутворення та необривності верхньої нитки. В існуючих конструкціях швидкісних швейних машинах для своєчасного утворення зазору використовують спеціальні механізми відведення для повертання шпулетримача [37-39]. Очевидно, що утворення зазору, тобто повертання шпулетримача проти напрямку руху швейного гачка, є наслідком взаємодії елементів кінематичної пари. Відомі дослідження не дають повного пояснення такому явищу. Дослідження взаємодії елементів комплексу, що призводить до повертання шпулетримача були проведені в роботі [40, 41], на основі імітації взаємодії елементів трибоспряження кривошипно-шатунним механізмом.

Як вказано в роботі [40], шпулетримач оббігає поверхню паза швейного гачка під дією відцентрових сил інерції при наявності радіального зазору у спряженні. Запропонована методика для дослідження малих переміщень ланок і деталей машин легкої промисловості [42]. Визначенню тиску у кінематичних парах човникового комплексу присвячені роботи [29, 30]. Узагальненими методами дослідженні навантаження на виступ установочного пальця, величина і характер зміни реакції якого є наслідком взаємодії елементів човникового пристрою. Для зменшення навантаження на виступ пальця рекомендовано зменшити масу елементів човникового комплексу, а також ретельно зрівноважити комплект (рис. 14).

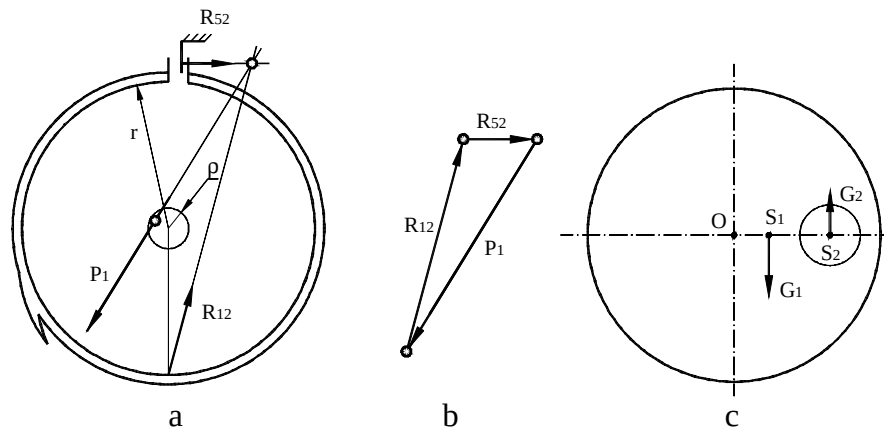


Рис. 14 – Розрахункова схема обертового човникового комплексу: а) схема сил; б) план сил; в) схема зрівноваженого човникового комплексу [30]

Імпульсні навантаження на установочному пальці є наслідком радіального перекриття поверхонь тертя з'єднання швейний гачок-шпулетримач, які мають розриви. Вказані дослідження не враховують специфіки конструкції кінематичної пари. Взаємодія верхньої голкової, нижньої човникової ниток і човникового комплексу розглянута в дослідженнях [43, 44].

Авторами роботи [43] виконані експериментальні дослідження, в результаті яких було визначено параметри, що впливають на натяг петлі верхньої голкової нитки при її обводі навколо шпулетримача. При опорі переміщенню нитки рівному 0, 5, 10, 15 г середнє значення натягу нитки складає 310, 400, 520, 910 г, при середніх квадратичних відхиленнях $\pm 7\%$ від середніх значень. Натяг петлі залежить і від форми носика швейного гачка. При загостреннях носиків рівних 30° , 42° , 54° середнє значення натягу нитки складає 4.2, 5.2, 5.6 Н; швидкість носика 15 м/с. Сили інерції, які при цьому виникають змінюють форму петлі особливо в кінці обводу і на початку зняття її з носика [43]. В період розширення і початку обводу зі сторони нитки на швейний гачок діє сила, яка досягає 10 Н і помітно змінює обертовий момент на човниковому валу [45]. Згідно з дослідженнями В. Н. Горбарука [46] значне навантаження сприймає швейний гачок з боку верхньої

нитки, але натяг і вплив її на розташування шпулетримача всередині швейного гачка під час її обводу досить незначні, якими можна знехтувати. Вплив же верхньої нитки на взаємодію елементів спряження визначається характером її дії на динаміку приводу човникового комплекту.

Перекриття робочих поверхонь тертя пари швейний гачок-шпулетрич є причиною ударних навантажень. При високошвидкісній роботі швейної машини паз шпулетримача переміщується відносно виступу установочного пальця з утворенням зазору між правою стінкою паза шпулетримача і виступом установочного пальця, в який може вільно проходити верхня голкова нитка. Утворення зазору є наслідком взаємодії елементів кінематичної пари. Ця обставина може стати в нагоді при виході петлі голкової нитки з паза шпулетримача, що дасть змогу зменшити навантаження на голкову нитку, забезпечити її необривність і підвищити якість роботи комплекту та технологію стібкоутворення. Дослідження таких особливостей, їх причини виникнення та закономірностей у поведінці елементів човникового комплекту, а також визначення способів управління механікою взаємодії елементів човникового комплекту та віброударною активністю проведено в роботах [47-50].

Ряд досліджень присвячено роботі човникового комплекту у специфічних умовах виробництва та його експлуатації [51, 52]. Це пов'язано з використанням ротаційних човникових пристроїв у швейних машинах спеціального призначення. Специфіка швейної машини позначається на роботі комплекту таким чином, що поряд із відмовами у роботі спряження шпулетримач-швейний гачок, як основною причиною виходу з ладу у звичайній конструкції, працездатність комплекту можуть визначати також і такі фактори, як зносостійкість носика швейного гачка, інертність човникового комплекту та інші.

Конструкція човникового комплекту розробляють та проектують для цілком конкретним умов експлуатації і забезпечення технології шиття. Прикладом є форма зворотного носика бічного напівкільця човникових комплектів фірми Hirose Hooks (Японія). Човникові комплекти розділені на класи за типом зворотного носика і використовуються для зшивання різних матеріалів (рис. 15).

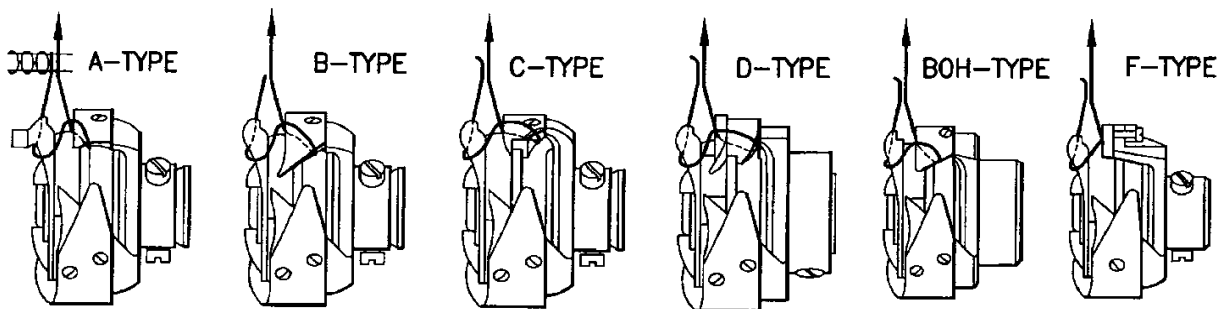


Рис. 15. Форма зворотного носика бічного напівкільця [1]

Тип А використовують для шиття важких матеріалів та зигзагоподібної строчки. Короткий зворотній носик недовго тримає голкову нитку та не створює проблем з її проходженням, навіть у випадках, коли носик човника пізно підходить до голки. Тип В загального призначення для широкого типу тканин. Довгий зворотній носик стримує нитку від надмірного послаблення під час її виходу з човника. Такий тип ефективний при надмірному перекрученні ниток. Тип С використовується для легких та середніх матеріалів. Він має виступ для попередження попадання в зазор між швейним гачком та шпулетримачем та заклинювання нитки. Тип D для шиття легких матеріалів (поєднує переваги типів В та С) має зворотній носик для утримування нитки та попереджує її заклинювання. Ще однією особливістю є легкість обертання шпулетримача та зменшення сили опору проходженню нитки в човнику та між шпулетримачем та установочним пальцем, що особливо важливо для тонких ниток. BOH тип для шиття середніх та важких матеріалів дозволяє плавно проводити нитку та попереджувати її повторному захвату при слабо скручених товстих та м'яких нитках. Тип F називають протизаклинюваним та відносить до типу А. Наявність пружинного заклинювання дозволяє видалити нитку із спряження при заклинюванні без розбирання човникового комплекту. Використовують для зігзаг машин домашнього використання. Використовують також додаткові елементи, які дозволяють запобігти повторному захвату нитки та її заплутуванню [53].

Для забезпечення необхідної форми петлі напуску в широкому швидкісному діапазоні роботи швейної машини та використання різного типу ниток використовують ударний кулачок, який розташовують на поверхні швейного гачка [54, 55].

Для шиття тонких та делікатних штанин і зниження величини натягу човникової нитки використовують човникові комплекти з подвійним шпулетримачем та збільшеним зазором між шпулетримачем та човником (рис. 16) [56].

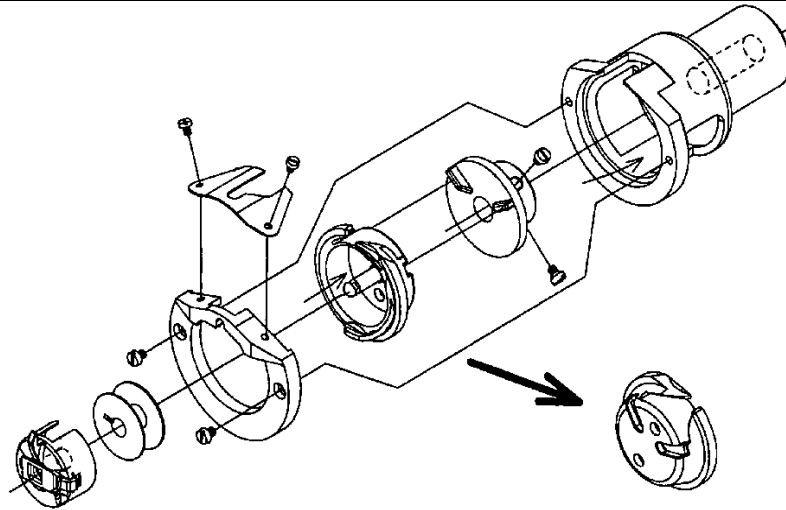


Рис. 16. Човниковий комплект [56]

Носик який захоплює голкову петлю напуску розташовується на шпулетримачеві, який обертається від приводу через муфту. Така конструкція дозволяє забезпечити низький опір обведенню нитки та використовується для тонких ниток.

Висновки

Проведено аналіз конструкційних методів підвищення працездатності човникових комплектів, що дозволило визначити та узагальнити характерні напрямки розвитку технічних рішень. Це дасть змогу систематизувати підходи до вирішення проблемних аспектів роботи човникових комплектів та встановити оптимальні методи їх вирішення базуючись на практиці дослідницької, наукової та виробничої роботи.

Література

1. Каталог фірми "Hirose Hooks" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sewingmachinemanuals.com/hirose-hooks-cases>.
2. Каталог фірми "Cerliani S.p.A" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cerliani.it>.
3. Каталог фірми "Ranjit Sons" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ranjitsons.com>.
4. ГОСТ 21197-84. Челноки вращающиеся промышленных швейных машин. – Взамен ГОСТ 21197-75; Введ. 01.01.85. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5с.
5. Комисаров А.И. Челночные устройства и механизмы швейных машин / А.И. Комисаров, В.В. Сторожев. – М.: МТИЛП, 1964. – 20с.
6. Вальщиков Н.М. Расчет и проектирование машин швейного производства / Н.М. Вальщиков, Б.А. Зайцев, Ю.М. Вальщиков. – Л.: Машиностроение, 1973. – 344с.
7. Рейбарх Р.Ф. Оборудование швейного производства / Р.Ф. Рейбарх. – М.: Высшая школа. 1982. – 302с.
8. Пат. 652248/12 ГДР, МПК D 05 B 57/14. Челнок для швейной машины / Вернер Бартель, Вальтер Шлавиц (ГДР); ФЕБ Maschinenwerk Wittenberge. – №104574; Заявл. 12.11.73; Опубл. 15.03.79; НПК 112/231. – 2с.
9. А.с. 1687679 СССР, МПК D 05 B 57/10. Челночное устройство швейной машины / В. К. Бондаренко, Л. А. Каданаций, В. А. Лишанков, В. Я. Франц (СССР). – № 4683898; Заявл. 25.04.89 Опубл. 30.10.91, Бюл. № 40. – 2с.
10. Пат. 4966088 США, МПК D 05 B 57/08. Composite rotary loop taker for lockstitch sewing machine / Badillo Paul (США); Bakron Corp. – № 292652; Заявл. 28.12. 1988; Опубл. 30. 11. 1990; НПК 112/184. – 23с.
11. Пат. 2803971 ФРГ, МПК D 05 B 1/12. Doppelstepstichnahmaschine / Seiler Klaus - Dieter, Stappel Wilhelm (ФРГ). – Заявл. 31.01.78; Опубл. 2.08.79, НПК 112/228. – 5с.
12. Пат. 5158029 США, МПК D 05 B 57/08. Rotary hook for sewing machines / Hirose Tokuzo (Япония); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 629552; Заявл. 18. 12. 1990; Опубл. 27.10.1992; НПК 112/230. – 5с.
13. Пат. 4278038 США, МПК D 05 B 57/08. Combined needle guard and hook beak for a sewing machine hook / Johnson; Ralph E. (США); The Singer Company. – №103661; Заявл. 14. 12. 1979; Опубл. 14.07. 1981; НПК 112/228. – 5с.
14. Пат. 4393798 США, МПК D 05 B 57/16. Rotary shuttle for a sewing machine / Cheng Haw-Lin (Тайвань) – № 191537; Заявл. 29. 09. 1980; Опубл. 19. 07. 1983; НПК 112/231. – 12с.
15. Пат. 138793 ГДР, МПК D 05 B 73/00. Nagmaschinengehäuse / Leinemann Ernst, Kertzsch Horst (ГДР); – № 207724; Заявл. 11.09.78; Опубл. 21.11.79, НПК 112/228. – 8с.
16. Пат. 5188046 США, МПК D 05 B 57/26. Plastic bobbin basket with damage resistant members / Badillo Paul (США); Bakron Corp. – № 647343; Заявл. 29. 01. 1991; Опубл. 23. 12. 1993; НПК 112/231. – 12с.
17. Пат. 669415 European Patent Office (EPO), МПК D 05 B 57/14. Hook assembly and sewing process /

- Hirose Tokuzo, Nakamura Kiyoshi (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 200450; Заявл. 30. 08. 1995; Опубл. 23. 12. 1995; – 30с.
18. Пат. 4432293 США, МПК D 05 B 57/08. Vertical axis rotary loop taker / Arendash Joseph M. (США); White Consolidated Industries Inc. – № 452929; Заявл. 27. 12. 1982; Опубл. 21.02. 1984; НПК 112/231. – 11с.
19. Пат. 4700643 США, МПК D 05 B 57/26. Rotary hook / Hirose Tokuzo, Shimizu Hiromitsu (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 743960; Заявл. 12. 06. 1985; Опубл. 20. 10. 1987; НПК 112/231. – 8с.
20. Пат. 4676178 США, МПК D 05 B 57/08. Rotary loop taker and bobbin case with magnetic repulsive force there between / Hirose Tokuzo (Японія) – № 717294; Заявл. 28. 03. 1985; Опубл. 30. 06. 1987; НПК 112/231. – 11с.
21. Пат. 4781132 США, МПК D 05 B 57/14. Full rotary loop taker assembly for sewing machines / Matsuda Kimikazu (Японія); Maruzen Sewing Machine Co., Ltd. – № 115603; Заявл. 29. 10 1987; Опубл. 01. 11. 1988; НПК 112/228. – 8с.
22. Пат. 2418290 Франція, МПК D 05 B 57/28. Perfectionnements à l'ensemble de canette d'une machine à coudre / «Meci» Materiel Electrique de Cantrole et Industriel (Франція). – № 7904840; Заявл. 26.02.79; Опубл. 21.09.79, НПК 112/228. – 6с.
23. Пат. 313688, European Patent Office (EPO) МПК D 05 B 57/14. Full rotary loop taker assembly for sewing machines / Matsuda Kimikazu (Японія); Maruzen Sewing Machine Co., Ltd. – № 309415; Заявл. 26. 10 1987; Опубл. 03. 05. 1989; – 10с.
24. Пат. 4884520 США, МПК D 05 B 57/26. Loop taker and sewing machine / Shimizu Hiromitsu (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 76717; Заявл. 20. 07. 1987; Опубл. 05. 12. 1989; НПК 112/231. – 10с.
25. Пат. 5237283 Японія, МПК D 05 B 57/26 Whole rotation hook in sewing machine for final sewing / Hirose Tokuso (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 79167; Заявл. 28. 02 1992; Опубл. 17. 19. 1993; НПК 112/231.
26. Пат. 5714873 Японія, МПК D 05 B 57/14. Rotary hook / Hasimoto Hideosy (Японія). – № 52153860; Заявл. 21.12.77; Опубл. 26.05.82 НПК 112/231.
27. Пат. 4483264 США, МПК D 05 B 57/26. Hanging bobbin case / Ketterer Stanley J. (США); The Singer Company – № 364545; Заявл. 01. 08. 1982; Опубл. 20. 11. 1984; НПК 112/231. – 6с.
28. Рачок В.В. Повышение работоспособности челночного устройства высокоскоростной базовой швейной машины 97 класса: Автореф. дис...канд. тех. наук: 05.180 /В.В. Рачок; Всесоюзный научно – исследовательский институт легкого и текстильного машиностроения. – М., 1971. – 16с.
29. Комисаров А.И. Проектирование и расчет машин обувных и швейных производств / А.И. Комисаров, В.В. Жуков, В.М. Никифоров. – М.: Машиностроение, 1976. – 431с.
30. Комисаров А.И. Проектирование и расчет челночных устройств и механизмов швейных машин / А.И. Комисаров, В.В. Сторожев // Научные труды МТИЛП. – 1964. – №29. – С. 170–188.
31. Рачок В.В. Повышение износостойкости челноков / В.В. Рачок // Машиностроение для легкой промышленности. – М.: ЦНИИТЭИлегпищмаш. – 1971. – С.3 – 7.
32. Рачок В.В. Влияние некоторых факторов на износ челноков высокоскоростных швейных машин / В.В. Рачок, В.В. Сторожев // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1968. – №3. – С. 150 – 154.
33. Рачок В.В. Исследование факторов, влияющих на износ поверхностей скольжения челноков машины 97 кл / В.В. Рачок// Машиностроение для легкой промышленности. – 1971. – №11. –С.9 – 13.
34. Пат. 4970975 США, МПК D 05 B 57/00. Rotary looptaker / Ando Ryuzo, Toratani Kousaku, Sato Masamichi, Nakashima Nobuyoshi, Hanya Yosiyasu (Японія); Brother Kogyo Kabushiki Kaisha – № 356345; May 24. 04. 1989; Опубл. 20. 11. 1990; НПК 112/228. – 6с.
35. Пат. 73566 World Intellectual Property Organization (WIPO), МПК D 05 B 57/14. Fully rotatable shuttle / Fujinaga Naoji, Hoshina Nozomi, Nishizawa Yoshifumi, Shimizu Hiromitsu, Tsukuda Zengo (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – №2867; Заявл. 28. 04. 1999; Опубл. 07. 12. 2000; – 36с.
36. Комисаров А.И., Лопухина И.В. Особенности движения нити иглы в быстроходных челночных машинах // Научные труды МТИЛП. – 1962. – Т.27. – С. 214 – 218.
37. Пат. 11319360 Японія, МПК D 05 B 57/14. Rotary shuttle for sewing machine / Tajima Ikuo (Японія); Tokai ind sewing mach Co., Ltd. – № 135512; Заявл. 18. 05. 1998; Опубл. 24.11.1999.
38. Пат. 4537142 США, МПК D 05 B 57/26. Shuttle stopper for lock stitch sewing machine / Tokuso Hirose (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd.– № 534624; Заявл. 22. 09. 1983; Опубл. 27. 08. 1985; НПК 112/231. – 6с.
39. Пат. 4527494 США, МПК D 05 B 57/26. Bobbin case position plate adjustment mechanism / William L. Herron, John D. Speckman (США); The Singer Company –№ 160415; Заявл. 19.06. 1980; Опубл. 09. 07. 1985; НПК 112/231. – 6с.
40. Сторожев В.В. Перемещение шпуледержателя челнока швейной машины / И.И. Сторожев // Научные труды МТИЛП. – 1965. – Т.34. – С. 42 – 48.
41. Сторожев В.В. Машины и аппараты лёгкой промышленности: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Сторожев // – М. Издательский центр «Академия», 2010. – 400с.
42. Бурмистров А.Г. Исследование перемещения деталей челночных устройств швейных машин /

- А.Г. Бурмистров, А.И. Комисаров, В.В. Сторожев // Научные труды МТИЛП. – 1967. – Т.33. – С. 34–40.
43. Комисаров А.И. Натяжение нити при расширении обвода петли челнока/ А.И. Комисаров, И.В. Лопандин // Научные труды МТИЛП. – 1962. – Т.31. – С. 172 – 177.
44. Słowikowska – Szymańska Z., Sielka K. Badanie zaciągania ściegu czółenkowego w warunkach quasistatycznych. – *Odzież*. – 1984. – № 7. S. 196–199.
45. А.И. Комисаров Кинематика нити иглы челночной швейной машины / А.И. Комисаров // Научные труды МТИЛП. – 1963. – № 27. – С. 27–31.
46. Горбарук В.Н. Расчет и проектирование основных механизмов швейных машин / В.Н. Горбарук. – М.: Машиностроение, 1979. – 236с.
47. Костогриз С.Г. Вплив геометричних параметрів човникового комплексу на взаємодію його елементів при високошвидкісних режимах роботи швейної машини / С.Г. Костогриз, П.Г. Капустенський, Е.А. Манзюк. – Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – №1. – С.1–4.
48. Манзюк Е. А. Особливості механіки трибоспрямижень ротаційного човникового комплексу/ Е.А. Манзюк, С.Г. Костогриз, П.Г. Капустенський // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ТУП. – 2000. – №5. Ч.1. – С. 100–103.
49. Манзюк Е. А. Контактний тиск у парі тертя швейний гачок - шпулетримач з врахуванням деформаційних властивостей поверхневих шарів / Е.А. Манзюк // Проблеми трибології. – Хмельницький: ТУП. – 2002. – №1. – С. 134–136.
50. Манзюк Е. А. Підвищення працездатності циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь у ротаційних системах: дис... канд. техн. наук: 05.02.02 / Е.А. Манзюк; ХНУ. – Хмельницький, 2003. – 179с.
51. Гулевский Х.Л. Средства для регистрации изменения определяющих параметров процесса петлеобразования в челночных швейных машинах / Х.Л. Гулевский // Точ. и надеж. мех. систем. – Рига. – 1987. – №13. – С. 103–108.
52. Kamata Yoshinobu, Kinoshita Rikuhito, Ishikawa Shonusuke, Fujisaki Kiyoshi Исследования работы швейной машины челночного стежка // J. Text. Mach. Soc. Jap. – 1985. – 30. – №2. – С. 40–49.
53. Пат. 7591227 США, МПК D 05 B 65/00 System and methods for thread handling and/or cutting / Alberto Landoni (Італія). – № 12/048943; Заявл. 14.03.2008; Опубл. 22.09.2009; НПК 112/475.17. – 18с.
54. Geilhaupt M. Der "Watshen-effekt" beim Doppelsteppstichgreifen // Die Nähmaschinen – Zeitung International. – 1984. – Bd. 105. – №8.
55. Манзюк Е. А. Особливості взаємодії елементів ротаційного човникового комплексу при формуванні петлі / Е.А. Манзюк, П.Г. Капустенський // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ТУП. – 2000. – №1. – С.32–35.
56. Пат. 7490567 США, МПК D 05 B 57/14. Seam puckering preventing shuttle device of sewing machine / Kouichi Sakuma (Японія); Suzuki Manufacturing, Ltd. – № 10/571921; Заявл. 27.12. 2004; Опубл. 03. 03. 2007; НПК 112/181. – 95с.

References

1. Catalog "Nirose Hooks" Web Resource. <http://www.sewingmachinemanuals.com/hirose-hooks-cases>.
2. Catalog "Cerliani S.p.A" Web Resource. <http://www.cerliani.it>.
3. Catalog "Ranjit Sons" Web Resource. <http://www.ranjitsons.com>.
4. GOST 21197-84. Chelnoki vrashchayushchiesya primyshlennykh shveynykh mashin. - Vzamen GOST 21197-75; Vved. 01.01.85. – М.: Izd-vo standartov, 1984. – 5s.
5. Komisarov A.I., Storozhev V.V. Chelnochnyye ustroystva i mekhanizmy shveynykh mashin. – М.: MTILP, 1964. – 20s.
6. Val'shchikov N.M., Zaytsev B.A., Val'shchikov YU.M. Raschet i proyektirovaniye mashin shveynogo proizvodstva. – L.: Mashinostroyeniye, 1973. – 344s.
7. Reybarkh R.F. Oborudovaniye shveynogo proizvodstva. – М.: Vysshaya shkola.1982.–302s.
8. Pat. 652248/12 GDR, MPK D 05 V 57/14. Chelnok dlya shveynoy mashiny / Verner Bartel', Val'ter Shlavits (GDR); FEB Mashinenverk Vittenberge. – №104574; Zayavl. 12.11.73; Opubl. 15.03.79; NPK 112/231. – 2s.
9. A.s. 1687679 SSSR, MPK D 05 V 57/10. Chelnochnoye ustroystvo shveynoy mashiny / V. K. Bondarenko, L. A. Kadanatsiy, V. A. Lishankov, V. YA. Frants (SSSR). – № 4683898; Zayavl. 25.04.89 Opubl. 30.10.91, Byul. № 40. 2s.
10. Pat. 4966088 SSHA, MPK D 05 V 57/08. Composite rotary loop taker for lockstitch sewing machine / Badillo Paul (SSHA); Bakron Corp. – № 292652; Zayavl. 28.12. 1988; Opubl. 30. 11. 1990; NPK 112/184. – 23s.
11. Pat. 2803971 FRG, MPK D 05 V 1/12. Doppelstepstichnahmaschine / Seiler Klaus - Dieter, Stappel Wilhelm (FRG). – Zayavl. 31.01.78; Opubl. 2.08.79, NPK 112/228. – 5s.
12. Pat. 5158029 SSHA, MPK D 05 V 57/08. Rotary hook for sewing machines / Hirose Tokuzo (Yaponiya); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 629552; Zayavl. 18. 12. 1990; Opubl. 27.10.1992; NPK 112/230. – 5s.
13. Pat. 4278038 SSHA, MPK D 05 V 57/08. Combined needle guard and hook beak for a sewing machine hook / Johnson; Ralph E. (SSHA); The Singer Company. – №103661; Zayavl. 14. 12. 1979; Opubl. 14.07. 1981; NPK 112/228. – 5s.
14. Pat. 4393798 SSHA, MPK D 05 V 57/16. Rotary shuttle for a sewing machine / Cheng Haw-Lin (Tayvan) – № 191537; Zayavl. 29. 09. 1980; Opubl. 19. 07. 1983; NPK 112/231. – 12s.
15. Pat. 138793 GDR, MPK D 05 V 73/00. Nagmaschinengehause / Leinemann Ernst, Kertzschor Horst (GDR); – № 207724; Zayavl. 11.09.78; Opubl. 21.11.79, NPK 112/228. – 8s.
16. Pat. 5188046 SSHA, MPK D 05 V 57/26. Plastic bobbin basket with damage resistant members / Badillo Paul (SSHA); Bakron Corp. – № 647343; Zayavl. 29. 01. 1991; Opubl. 23. 12. 1993; NPK 112/231. – 12s.
17. Pat. 669415 European Patent Office (YERO), MPK D 05 V 57/14. Hook assembly and sewing process / Hirose Tokuzo, Nakamura Kiyoshi (Yaponiya); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 200450; Zayavl. ZO. 08. 1995; Opubl. 23. 12. 1995; – 30s.
18. Pat. 4432293 SSHA, MPK D 05 V 57/08. Vertical axis rotary loop taker / Arendash Joseph M. (SSHA); White Consolidated Industries Inc. – № 452929; Zayavl. 27. 12. 1982; Opubl. 21.02. 1984; NPK 112/231. – 11s.

19. Pat. 4700643 SSHA, MPK D 05 V 57/26. Rotary hook / Hirose Tokuzo, Shimizu Hiromitsu (Yaponiya); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 743960; Zayavl. 12. 06. 1985; Opubl. 20. 10. 1987; NPK 112/231. – 8s.
20. Pat. 24616178 SSHA, MPK D 05 V 57/08. Rotary loop taker and bobbin case with magnetic repulsive force there between / Hirose Tokuzo (Yaponiya) – № 717294; Zayavl. 28. 03. 1985; Opubl. ZO. 06. 1987; NPK 112/231. – 11s.
21. Pat. 4781132 SSHA, MPK D 05 V 57/14. Full rotary loop taker assembly for sewing machines / Matsuda Kimikazu (Yaponiya); Maruzen Sewing Machine Co., Ltd. – № 115603; Zayavl. 29. 10. 1987; Opubl. 01. 11. 1988; NPK 112/228. – 8s.
22. Pat. 2418290 Frantsiya, MPK D 05 V 57/28. Perfectionnements à l'ensemble de canette d'une machine à coudre / «Mesí» Materiel Electrique de Cantrole et Industriel (Frantsiya). – № 7904840; Zayavl. 26.02.79; Opubl. 21.09.79, NPK 112/228. – 6s.
23. Pat. 313688, European Patent Office (YERO) MPK D 05 V 57/14. Full rotary loop taker assembly for sewing machines / Matsuda Kimikazu (Yaponiya); Maruzen Sewing Machine Co., Ltd. – № 309415; Zayavl. 26. 10. 1987; Opubl. 03. 05. 1989; – 10s.
24. Pat. 4884520 SSHA, MPK D 05 V 57/26. Loop taker and sewing machine / Shimizu Hiromitsu (Yaponiya); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 76717; Zayavl. 20. 07. 1987; Opubl. 05. 12. 1989; NPK 112/231. – 10s.
25. Pat. 5237283 Yaponiya, MPK D 05 V 57/26 Whole rotation hook in sewing machine for final sewing / Hirose Tokuzo (Yaponiya); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 79167; Zayavl. 28. 02. 1992; Opubl. 17. 19. 1993; NPK 112/231.
26. Pat. 5714873 Yaponiya, MPK D 05 V 57/14. Rotary hook / Hasimoto Hidesy (Yaponiya). – № 52153860; Zayavl. 21.12.77; Opubl. 26.05.82 NPK 112/231.
27. Pat. 4483264 SSHA, MPK D 05 V 57/26. Hanging bobbin case / Ketterer Stanley J. (SSHA); The Singer Company – № 364545; Zayavl. 01. 08. 1982; Opubl. 20. 11. 1984; NPK 112/231. – 6s.
28. Rachok V.V. Povysheniye rabotosposobnosti chelnochnogo ustroystva vysokoskorostnoy bazovoy shveynoy mashiny 97 klassa: Avtoref. dis...kand. tekhn. nauk: 05.180 / Vsesoyuznyy nauchno – issledovatel'skiy institut legkogo i tekstil'nogo mashinostroyeniya. – M., 1971. – 16s.
29. Komisarov A.I., Zhukov V.V., Nikiforov V.M. Proyektirovaniye i raschet mashin obuvnykh i shveynykh proizvodstv. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 431s.
30. Komisarov A.I., Storozhev V.V. Proyektirovaniye i raschet chelnochnykh ustroystv i mekhanizmov shveynykh mashin // Nauchnyye trudy MTILP. – 1964. – №29. – S. 170–188.
31. Rachok V.V. Povysheniye iznosostoykosti chelnokov // Mashinostroyeniye dlya legkoy promyshlennosti. – M.: TSNIITEIlegpishchmash. – 1971. – S.3 – 7.
32. Rachok V.V., Storozhev V.V. Vliyaniye nekotorykh faktorov na iznos chelnokov vysokoskorostnykh shveynykh mashin // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 1968. – №3. – S. 150 – 154.
33. Rachok V.V. Issledovaniye faktorov, vliyayushchikh na iznos poverkhnostey skol'zheniya chelnokov mashiny 97 kl // Mashinostroyeniye dlya legkoy promyshlennosti. – 1971. – №11. – S.9 – 13.
34. Pat. 4970975 SSHA, MPK D 05 V 57/00. Rotary looptaker / Ando Ryuzo, Toratani Kousaku, Sato Masamichi, Nakashima Nobuyoshi, Hanya Yosiyasu (Yaponiya); Brother Kogyo Kabushiki Kaisha – № 356345; May 24. 04. 1989; Opubl. 20. 11. 1990; NPK 112/228. – 6s.
35. Pat. 73566 World Intellectual Property Organization (WIPO), MPK D 05 V 57/14. Fully rotatable shuttle / Fujinaga Naoji, Hoshina Nozomi, Nishizawa Yoshifumi, Shimizu Hiromitsu, Tsukuda Zengo (Yaponiya); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – №2867; Zayavl. 28. 04. 1999; Opubl. 07. 12. 2000; – 36s.
36. Komisarov A.I., Lopukhina I.V. Osobennosti dvizheniya niti igly v bystrokhodnykh chelnochnykh mashinakh // Nauchnyye trudy MTILP. – 1962. – T.27. – S. 214 – 218.
37. Pat. 11319360 Yaponiya, MPK D 05 V 57/14. Rotary shuttle for sewing machine / Tajima Ikuo (Yaponiya); Tokai ind sewing mach Co., Ltd. – № 135512; Zayavl. 18. 05. 1998; Opubl. 24.11.1999.
38. Pat. 4537142 SSHA, MPK D 05 V 57/26. Shuttle stopper for lock stitch sewing machine / Tokuzo Hirose (Yaponiya); Hirose Manufacturing Co., Ltd. – № 534624; Zayavl. 22. 09. 1983; Opubl. 27. 08. 1985; NPK 112/231. – 6s.
39. Pat. 4527494 SSHA, MPK D 05 V 57/26. Bobbin case position plate adjustment mechanism / William L. Herron, John D. Speckman (SSHA); The Singer Company – № 160415; Zayavl. 19.06. 1980; Opubl. 09. 07. 1985; NPK 112/231. – 6s.
40. Storozhev V.V. Peremeshcheniye shpulederzhatelya chelnoka shveynoy mashiny // Nauchnyye trudy MTILP. – 1965. – T.34. – S. 42 – 48.
41. Storozhev V.V. Mashiny i apparaty logkoy promyshlennosti: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavede-niy. – M. Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2010. – 400s.
42. Burmistrov A.G., Komisarov A.I., Storozhev V.V. Issledovaniye peremeshcheniya detaley chelnochnykh ustroystv shveynykh mashin // Nauchnyye trudy MTILP. – 1967. – T.33. – S. 34–40.
43. Komisarov A.I., Lopandin I.V. Natyazheniye niti pri rasshirenii obvode petli chelnoka // Nauchnyye trudy MTILP. – 1962. – T.31. – S. 172 – 177.
44. Słowikowska – Szymańska Z., Sielka K. Badanie zaciągania ściegu czółenkowego w warunkach quasistatycznych. – Odzież. – 1984. – № 7. S. 196–199.
45. A.I. Komisarov Kinematika niti igly chelnochnoy shveynoy mashiny // Nauchnyye trudy MTILP. – 1963. – № 27. – S. 27–31.
46. Gorbaruk V.N. Raschet i proyektirovaniye osnovnykh mekhanizmov shveynykh mashin. – M.: Mashinostroyeniye, 1979. – 236s.
47. Kostogriz S.G., Kapustens'kiy P.G., Manziuk E.A. Vpliv geometrichnikh parametrov chovnikovogo kompleksu na vzaemodiyu yogo yelementiv pri visokoshvidkiskikh rezhimakh roboti shveynoi mashini. – Visnik Khmel'nits'kogo natsional'nogo universitetu. – 2006. – №1. – C.1–4.
48. Manziuk E. A., Kostogriz S. G., Kapustens'kiy P. G. Osoblivosti mekhaniki tribospriyazhen' rotatsiynogo chovnikovogo kompleksu // Visnik Tekhnologichnogo uni-versitetu Podillya. – Khmel'nits'kiy: TUP. – 2000. – №5. CH.1. – S. 100–103.
49. Manziuk E. A. Kontaktniy tisk u pari tertya shveynyi gachok - shpuletrimach z vrakhuvannyam deformatsiynikh vlastivostey poverkhnivikh shariv // Problemi tribologii. – Khmel'nits'kiy: TUP. – 2002. – №1. – S. 134–136.
50. Manziuk E. A. Pidvishchennya pratsezdatsnosti tsilindrichnikh kinematichnikh par z rozrivami poverkhon' u rotatsiynikh sistemakh: dis... kand. tekhn. nauk: 05.02.02. – Khmel'nits'kiy, 2003. – 179s.
51. Gulevskiy K.H.L. Sredstva dlya registratsii izmeneniya opredelyayushchikh parametrov protsessa petleobrazovaniya v chelnochnykh shveynykh mashinakh // Toch. i nadezh, mekh. sistem. – Riga. – 1987. – №13. – S. 103–108.
52. Kamata Yoshinobu, Kinoshita Rikuhio, Ishikawa Shonusuke, Fujisaki Kiyoshi Issledovaniya raboty shveynoy mashiny chelnochnogo stezhka // J. Text. Mach. Soc. Jap. – 1985. – 30. – №2. – S. 40–49.
53. Pat. 7591227 SSHA, MPK D 05 B 65/00 System and methods for thread handling and/or cutting / Alberto Landoni (Itiliya). – № 12/048943; Zayavl. 14.03.2008; Opubl. 22.09.2009; NPK 112/475.17. – 18s.
54. Geilhaupt M. Der "Watshen-effekt" beim Doppelsteppschüchgreifen // Die Nähmaschinen – Zeitung International. – 1984. – Bd. 105. – №8.
55. Manziuk E. A., Kapustens'kiy P. G. Osoblivosti vzaemodii yelementiv rotatsiynogo chovnikovogo kompleksu pri formuvanni petli // Visnik Tekhnologichnogo universitetu Podillya. – Khmel'nits'kiy: TUP. – 2000. – №1. – S.32–35.
56. Pat. 7490567 SSHA, MPK D 05 V 57/14. Seam puckering preventing shuttle device of sewing machine / Kouichi Sakuma (Yaponiya); Suzuki Manufacturing, Ltd. – № 10/571921; Zayavl. 27.12. 2004; Opubl. 03. 03. 2007; NPK 112/181. – 95s.

Рецензія/Peer review : 2.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

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

УДК 677.076

І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК

Львівська комерційна академія

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ НАНОТЕКСТИЛЮ

В роботі сформульовані і обґрунтовані напрямки впровадження NBIC технологій в практику роботи підприємств текстильної промисловості з метою створення нового асортименту матеріалів і виробів різного цільового призначення. Дана характеристика чинників, які впливають на формування асортименту і властивостей сучасного нанотекстилю різного цільового призначення.

Ключові слова: нанотекстиль, нанотехнології, нановолокна, наноемульсії, нанодисперсії, асортимент, властивості, нанотехнології, екологічна безпечність.

I.S.GALYK, B.D.SEMAK

Lviv Academy of Commerce

MODERN DIRECTIONS OF NANOTEXTILE ASSORTMENT FORMING

Abstract – We are to define basic directions of nanotextile assortment development and spheres of its the most effective use on the basis of literary sources analysis and generalization of own researches results. Scientific publications and own researches materials. The research method is theory analytical. On the basis of scientific publications analysis directions and introduction of NB and C technologies have been shown and grounded in practice of enterprises in textile industry to create new assortment of materials and wares. The factors description which influences the assortment and properties forming of different special purpose setting of modern nanotextile has been given. Necessary information is given about an assortment and properties of new types of textile materials and clothes.

Keywords: nanotextile, nanotechnologies, nanofibre, nanoemulsions, assortment, properties, ecological safety.

Вступ

Як свідчить аналіз літературних джерел [1,2,3,4], в останні роки в багатьох економічно розвинутих країнах світу чітко намітилась тенденція розширення асортименту та збільшення обсягів виробництва нанотекстилю різного цільового призначення. Мова йде не тільки про різноманітні види текстильної наносировини (нановолокон, апретів, емульсій, дисперсій та ін.), але й виробництва принципово нових видів текстильних наноматеріалів і виробів різного цільового призначення. Все це вимагає розроблення науково обґрунтованої системи класифікації асортименту та товарознавчої характеристики властивостей нанотекстилю і всестороннього обґрунтування найбільш ефективних сфер його застосування. Не менш важливим є дослідження екологічної безпечності застосування нанотехнологій і оцінки гігієнічності отриманих на їх основі текстильних наноматеріалів.

Постановка проблеми

Одним із ефективних шляхів виходу із затяжної економічної кризи та підвищення експортного потенціалу вітчизняних підприємств текстильної і легкої промисловості, як відомо, є впровадження в практику їх роботи сучасних біо-, нано- та хімічних технологій. Особливо актуальним є вирішення цих завдань сьогодні, коли виникла потреба у реалізації Угоди про асоціацію з ЄС і підготовки нашої країни до вступу до ЄС. Окрім цього, необхідність впровадження названих новітніх технологій в практику роботи підприємств вітчизняної текстильної і легкої промисловості обумовлена і суттєвим їх відставанням від зарубіжного виробництва в цих галузях.

В даній роботі ми обмежимося тільки розглядом проблем, пов'язаних із впровадженням сучасних нанотехнологій в практику роботи підприємств вітчизняної текстильної промисловості, акцентуючи основну увагу на найбільш ефективне та екологічно безпечне використання цих технологій та створення на їх основі оптимальної структури асортименту наноматеріалів і виробів різного цільового призначення.

Виходячи з цього, перед галузевою і вузівською наукою в сфері текстильного виробництва та торгівлі, на наш погляд, стоять наступні першочергові завдання, що стосуються формування асортименту та властивостей текстильних наноматеріалів і виробів [2]:

- вивчення та обґрунтування економічної та екологічної доцільності та технологічної можливості організації власного виробництва чи імпорту тих видів текстильних матеріалів і виробів, які можуть бути отримані на основі сучасних нанотехнологій;
- вивчення та узагальнення реального попиту споживачів на текстильні наноматеріали та вироби різного цільового призначення та способів виробництва;
- виявлення найбільш раціональних сфер використання текстильних наноматеріалів і виробів, враховуючи специфіку їх будови та властивостей;
- вивчення та узагальнення зарубіжного досвіду виробництва та застосування текстильних наноматеріалів і виробів різного цільового призначення;
- вивчення та узагальнення інформації про вплив нанотехнологій та асортименту наноматеріалів і виробів на самопочуття людини та забруднення довкілля;

- обґрунтування та стандартизація вимог до асортименту, властивостей, рівня якості та екологічної безпечності текстильних наноматеріалів і виробів різних способів виробництва та цільового призначення;
- обґрунтування доцільності внесення необхідних доповнень і уточнень в існуючу систему стандартизації асортименту та властивостей текстильних матеріалів, отриманих на основі сучасних нанотехнологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Враховуючи новизну та популярність застосування нанотехнологій у сфері текстильного виробництва, а також широту сфер застосування текстильної наносировини, наноматеріалів і виробів, ці проблеми широко висвітлюються в періодичних і монографічних виданнях, а також є предметом обговорення на багатьох міжнародних, регіональних та вузівських науково-практичних конференціях. Обмежимося розглядом деяких монографічних і періодичних видань останніх років, присвячених проблемі формування асортименту та властивостей текстильних наноматеріалів і виробів різного цільового призначення [1,3], а також вивчення ризиків від застосування нанотехнологій [4].

Автором роботи [1] сформульовані науково-методологічні засади формування асортименту, властивостей і якості текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення, отриманих на основі сучасних нанотехнологій. Основна увага приділена розгляду нанотехнологій для виробництва текстильних нановолокон, наноматеріалів і виробів різного цільового призначення (побутового, спортивного, медичного, спеціального). Обґрунтована доцільність проведення поглиблених досліджень екологічної безпечності застосування нанотехнологій в текстильному виробництві, а також економічної доцільності застосування цих технологій. Авторами роботи [3] дано всесторонній аналіз проблем, пов'язаних з використанням сучасних нанотехнологій в практиці роботи вітчизняної та зарубіжної текстильної промисловості. Значна увага приділена розробленню нових типів обробних препаратів на основі нанотехнологій для опорядження текстильних матеріалів. Запропоновано оригінальний метод наномембранної фільтрації барвників з метою відновлення їх фарбувальної здатності, що сприяє не тільки підвищенню якості та раціональному використанню цих барвників, але й екологізації самого процесу очищення стоків. Авторами сформульовані та обґрунтовані пріоритетні напрямки досліджень стосовно впровадження нанотехнологій в практику роботи підприємств вітчизняної текстильної промисловості. Вони стосуються таких напрямків:

- фізичної модифікації структури штучних і синтетичних волокон шляхом введення в них відповідних наночастинок чи нановолокон;
- хімічної модифікації поверхні природних волокон шляхом використання нанотехнологій з метою надання цим волокнам нових чи поліпшених властивостей;
- наповненням наночастинками природних волокон з метою модифікації їх властивостей;
- нових властивостей;
- використанням нанотехнологій для створення нового асортименту текстильно-допоміжних сполук.

Авторами роботи [4] дано аналіз ймовірних ризиків, обумовлених використанням нанотехнологій в різних галузях медицини та промисловості. Підкреслюється про існуючий дисбаланс у дослідженнях, пов'язаних із впровадженням нанотехнологій і ризиків від них. Відзначається, що основна небезпека дії наночастинок, наноматеріалів і нанотехнологій полягає в тому, що їх вплив на живі організми, включаючи людину та забруднення довкілля, ще недостатньо вивчені.

На думку цих авторів, необхідно підвищити обізнаність суспільства про переваги, ризики та потенційні наслідки від застосованих нанотехнологій та наноматеріалів у різних галузях науки, техніки, медицини та економіки.

Завершуючи розгляд названих публікацій, слід зауважити, що в літературних джерелах відсутня належна інформація про такі важливі для ринку питання:

- про переваги та недоліки нанотекстилю порівняно з його звичайними аналогами;
- не конкретизовані сфери найбільш ефективного застосування нанотекстилю;
- не сформульовані ринкові вимоги до асортименту та властивостей нанотекстилю різного цільового призначення.

Більше того, формування вітчизняного асортименту нанотекстилю, як правило, відбувається спонтанно, епізодично, а інколи тільки в лабораторних умовах. Відсутня науково обґрунтована концепція розвитку асортименту нанотекстилю, яка б передбачала науково обґрунтовані напрямки виробництва нанотекстилю різного цільового призначення із набором необхідних властивостей для конкретних умов експлуатації.

Мета роботи: на основі аналізу літературних джерел і узагальнення результатів власних досліджень визначити основні напрями розвитку асортименту нанотекстилю та обґрунтувати сфери його найбільш ефективного використання.

Викладення основного матеріалу та його авторська трактовка

Як свідчить аналіз літературних джерел [1,2,3], на зарубіжних ринках в останні роки чітко намітились такі напрямки розвитку асортименту нанотекстилю:

- текстильна наносировина – хімічні нановолокна різної будови, модифіковані наночастинками; модифіковані наночастинками природні волокна; наноемульсії; нанодисперсії; різноманітні за призначенням

текстильно-допоміжні нанополуки;

- текстильні наноматеріали різного цільового призначення (медичного, технічного, побутового);
- готові вироби різного цільового призначення (побутового, спортивного, медичного, спеціального), отримані на основі нанотехнологій.

В даній роботі обмежимося більш детальним розглядом асортименту, властивостей і сфер застосування нанотекстилю побутового та медичного призначення, акцентуючи увагу на розширення його асортименту, властивостей та нові сфери застосування [1,2,5,7,8].

Широке використання нанотехнологій для виробництва нанотекстилю побутового та медичного призначення, як відомо [4,5], обумовлено низкою причин, а саме:

- можливістю надання цим матеріалам одночасно декількох корисних властивостей в результаті застосування нанотехнологій (бактерицидності, гідрофільності, відштовхування бруду та ін.);
- використанням сучасних нанотехнологій для створення багатьох видів нанопрепаратів на текстильній основі для лікування різноманітних захворювань;
- розширення сфер застосування медичного нанотекстилю (перев'язувальні матеріали, антимікробна постільна та натільна білизна для хворих, захисний одяг для медперсоналу, антивірусні покриття в лікарняних і хірургічних палатах та ін.).

І ще один приклад використання сучасних нанотехнологій у поєднанні з досягненнями традиційної китайської медицини для створення одягу лікувального та оздоровчого призначення. Мова йде про одяг з біофотонами (лікувальна жіноча білизна, шкарпетки, гетри та ін.), виробництво та реалізацію яких освоїла відома міжнародна корпорація Хуа-Шен [6]. Окрім виробництва лікувально-оздоровчого одягу, ця корпорація випускає широкий асортимент продуктів харчування та косметики на основі натуральної сировини. Окрім різних регіонів Китаю, філіали цієї корпорації розміщені в Європі, Північній Америці, Африці та окремих країнах Азії.

Декілька слів про походження біофотонів і їх лікувальної дії на організм людини. Встановлено, що деякі види біосировини у формі наночастинок здатні випромінювати біохвилі, які володіють профілактичними та лікувальними властивостями при дії на клітини організму людини. В результаті цього, наприклад, білизна з біофотонами дозволяє не тільки ліквідувати ділянку захворювання в організмі людини, але й активізувати обмінні процеси в його клітинах, покращити кровообіг і доступ кисню в ці клітинки [7].

Таким чином, біофотони – це наночастинок, отримані із різноманітних видів біосировини, здатні випромінювати біохвилі довжиною 5-25 мк, які, проникаючи в організм людини із її одягу, сприяють лікуванню хворих органів людини від різних видів захворювань.

Слід зазначити, що корпорація Хуа-Шен в останні роки освоїла виробництво нового типу лікувального одягу, який окрім біофотонів, містить магнітні волокна. Такий одяг одночасно володіє двома лікувальними ефектами – біорезонансною і магнітною терапією. Відзначається, що найбільшою популярністю на ринку користуються трикотажні вироби даної корпорації із вмістом 40% бавовни, 30% магнітного волокна, 30% еластану із заключною обробкою наночастинок біофотонів [8].

В роботі [9] наведена інформація про можливість надання тканинам і виробам з них електропровідності шляхом нанесення на них тонкого шару напівпровідникових полімерів і відповідних наночастинок. При цьому властивості тканини (повітропроникність, м'якість, гнучкість та інші) не змінюються, а сукні з такої тканини набувають електропровідності і здатності заряджати телефони, дисплеї, плеєри та інші гаджети. Це переконливий приклад поєднання нанотехнологій і сучасної моди одягу.

Автор роботи [10] обґрунтовує можливість застосування NBIC-технологій в практиці роботи текстильних підприємств. Він наводить визначення деяких понять, що стосуються названих технологій, а саме:

- NBIC – це початкові букви англійських назв окремих технологій (N –нано, B – біо, I – інформаційні, C – когнітивні);
- підкреслюється, що NBIC-технології об'єднані у своєрідний науково-технічний кластер, який нині визначає рівень розвитку окремих країн (це 6-й технологічний уклад).

Далі в цій роботі автором розглядаються наступні блоки питань:

- дається інформація про економіку виробництва текстилю на основі використання NBIC-технологій;
- наведені дані про потенційний світовий ринок нанопродукції;
- показано місце Росії в світовій економіці нанопродукції;
- дана оцінка світової економіки нанотекстилю і одягу за останні роки;
- розглянута динаміка споживання у світі медичного нанотекстилю;
- розглянуто проблеми виробництва нановолокон;
- розкрита роль біотехнологій у виробництві нового покоління текстильних волокон;
- розглянуто проблеми формування асортименту та властивостей нанотекстилю одягового, технічного та спеціального призначення.

Авторами роботи [11] запропонована унікальна нанотехнологія виробництва одягу, здатного очищувати повітря в підодяговому просторі. Суть виробництва фотокаталітичного одягу полягає в наступному:

- одяг складається із трьох шарів, між якими міститься фотокаталізатор, який під дією світлової

енергії здатний активізувати хімічні реакції в текстильному матеріалі. Як фотокаталізатор в основному використовується TiO_2 . При попаданні світла на фотокаталізатор його електрони перебудовуються і утворюють хімічно активні радикали, здатні вступати в хімічну реакцію із забруднювачами повітря, що в свою чергу сприяє його очищенню. Для очищення самої тканини достатньо використати звичайне прання.

Висновки

В текстильному виробництві багатьох економічно розвинених країн, як свідчить аналіз літературних джерел, в останні роки чітко намітилась тенденція розширення асортименту та збільшення обсягів виробництва текстильної наносировини, наноматеріалів і виробів на основі сучасних nano-, біо-, хімічних і інформаційних технологій. Особливо перспективними виявились нанотехнології, використання яких в різних підгалузях текстильного виробництва дозволяє отримати принципово нові види текстильної сировини і наноматеріалів і виробів різного цільового призначення на її основі. На часі впровадження NBIC-технологій у практику вітчизняного текстильного виробництва.

Література

1. Кричевский Г.Е. Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды: монография / Г.Е.Кричевский. – М.: Известия, 2011. – 528с.
2. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю: монографія / І.С.Галик, Б.Д.Семак. – Львів: видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488с.
3. Матвейцова Д.С. Нанотехнології у виробництві текстильних матеріалів / Д.С.Матвейцова, С.А.Карван, О.А.Параска // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – №5(217). – С.55-60.
4. Михайленко В.М. Нанотехнології – перспективи застосування та ризики для здоров'я людини / В.М.Михайленко, П.М.Михайленко, Л.О.Слейко // Онкологія. – 2008. – №4. – Т.10. – С.420-426.
5. Галик І.С. Використання нанотехнологій для виробництва медичного текстилю / І.С.Галик, Б.Д.Семак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – №3. – С.176-185.
6. Научная и лечебная значимость продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.huashen.md/production/product/>.
7. История научного открытия. Биофотоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.huashen.md/biofotoni/history/>.
8. Одежда с магнитной нитью и биофотонами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.huashen.biz/ru/magnetic-fibers/index.shtml>.
9. Костомаров А. Платье из нанотекстиля для зарядки гаджетов [Электронный ресурс] / А.Костомаров. – Режим доступа: http://www.sk-tech26.ru/stavropolie.ru/notion.php?notion_id=115 (12 апреля 2010).
10. Кричевский Г.Е. NBIC-технологии в производстве текстиля и одежды. Ожидание, успехи, разочарование за 13 лет 21 века [Электронный ресурс] / Г.Е.Кричевский. – Режим доступа: <http://www.rusnor.org/pulb/reviews/10569.htm> (06.05.2014)
11. Элшин А. Идея фотокаталитической одежды, очищающей воздух [Электронный ресурс] / А.Элшин. – Режим доступа: <http://www.1000ideas.ru/.../biznes-ideya-2494-fotokatalicheskaya-odzhda>.

References

1. Krychevskyy H.E. Nano-, bio-, khymycheskye tekhnolohyy v proyzvodstve novoho pokolenyya volokon, tekstylyЭлшина у одежды: monohrafiya / H.E.Krychevskyy. – М.: Yzvestyya, 2011. – 528s.
2. Halyk I.S. Problemy formuvannya ta otsynuyannya ekolohichnoyi bezpechnosti tekstylyu: monohrafiya / I.S.Halyk, B.D.Semak. – L'viv: vydavnytstvo L'vivskoyi komertsynoyi akademiyi, 2014. – 488s.
3. Matveytsova D.S. Nanotekhnolohiyi u vyrobnytstvi tekstyl'nykh materialiv / D.S.Matveytsova, S.A.Karvan, O.A.Paraska // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2014. – #5(217). – С.55-60.
4. Mykhaylenko V.M. Nanotekhnolohiyi – perspektivy zastosuvannya ta ryzyky dlya zdorov'ya lyudyny / V.M.Mykhaylenko, P.M.Mykhaylenko, L.O.Yeyleko // Onkolohiya. – 2008. – #4. – Т.10. – С.420-426.
5. Halyk I.S. Vykorystannya nanotekhnolohiy dlya vyrobnytstva medychnoho tekstylyu / I.S.Halyk, B.D.Semak // Visnyk Kyivsk'oho natsional'noho universytetu tekhnolohiy ta dyzaynu. – 2014. – #3. – С.176-185.
6. Nauchnaya y lechebnaya znachymost' produktsyy. <http://www.huashen.md/production/product/>.
7. Ystoryya nauchnoho otkrytya. Byofotony. <http://www.huashen.md/biofotoni/history/>.
8. Odezhda s mahnytnoy nityu y byofotonamy. <http://www.huashen.biz/ru/magnetic-fibers/index.shtml>.
9. Kostomarov A. Plat'e yz nanotekstylya dlya zaryadky hadzhetov / A.Kostomarov / http://www.sk-tech26.ru/stavropolie.ru/notion.php?notion_id=115 (12 aprelya 2010).
10. Krychevskyy H.E. NBIC-tekhnolohyy v proyzvodstve tekstylya y odezhdy. Ozhydanye, uspekhy, razocharovanye za 13 let 21 veka / H.E.Krychevskyy // <http://www.rusnor.org/pulb/reviews/10569.htm> (06.05.2014)
11. Elshin A. Ydeya fotokatalytycheskoy odezhdy, ochyshchayushchey vozdukh. <http://www.1000ideas.ru/.../biznes-ideya-2494-fotokatalicheskaya-odzhda>.

Рецензія/Peer review : 17.3.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.

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

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ АНТИСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті проаналізовано сучасний стан проблеми антистатичної обробки текстильних матеріалів. Увага приділяється створенню комфортних умов, забезпеченню безпеки життя і охорони здоров'я людини. При цьому спостерігається стійка тенденція росту споживчого попиту на товари, до складу яких входять тільки екологічно чисті компоненти, а в ряді найбільш бажаних споживчих властивостей текстильних матеріалів - антистатичну активність. Відображенням цього є сучасні системи сертифікації текстильних матеріалів, зокрема стандарт "Екотекс-100" та й інші системи оцінки якості текстильної продукції (ISO, DIN, AATCC), які діють в країнах ЄС та США.

Ключові слова : текстильний матеріал, антистатика, поверхнево-активні речовини, електричний опір, електропровідність, напруженість електричного поля.

S.A. KARVAN, A.Y. GANZUK

Khmelnitskyi National University

THE CURRENT STATE OF THE PROBLEM CONCERNING ANTISTATIC PROCESSING OF THE TEXTILES

Abstract - gradual ecologization of chemical industry, stating of ecological values and environment protection have been taking place in the modern world. Comfortable conditions, life security and health care have become predominant. Clean energy components of goods have been in a great consumer demand too. Reflection of this situation can be explained by the certification of textile materials, for example, "Ecotex-100" standard and many other systems (ISO, DIN, AATCC), operating in EU and the USA.

Keywords: textile material, antistatic, woven interweaving, surface active agents, electrical resistance, electrical conductivity, electric field intensity.

Постановка проблеми

Людина у своєму житті активно використовує текстильні матеріали, потреба в них існувала і буде існувати завжди. Тому з погляду бізнесу виробництво текстильної продукції - безпрограшний напрямок, тому що воно є одним з основних конструктивних елементів у формуванні середовища перебування людини. Текстильні матеріали активно використовуються для виробництва одягу і білизни, оформленні інтер'єру та в технічних цілях.

Формулювання цілі статті

В умовах ринкової економіки проблема випуску високоякісних сучасних товарів народного споживання з оптимальною структурою асортименту набуває особливого значення як у сфері виробництва та торгівлі, так і для споживача. Сьогодні на підприємствах легкої промисловості відбуваються процеси структурної перебудови, змінюються методи управління та форми власності, розширюється й асортимент товарів, вдосконалюється організація та технологія виробництва, поліпшуються маркетингова та рекламна діяльність, якість і дизайн виготовленої продукції. На сучасному етапі розвитку економіки України основними напрямками виробництва є підвищення конкурентоспроможності товарів, експортних можливостей підприємств, розробка та впровадження безвідходних технологій, утилізація та раціональна переробка відходів виробництва. Робота за цими напрямками здійснюється на вітчизняних підприємствах швейного та текстильного виробництва. В процесі масового та індивідуального швейного виробництва використовують різноманітні швейні матеріали: ткани, неткані та трикотажні полотна, натуральне та штучне хутро, дубльовані та плащові матеріали, швейні нитки, фурнітуру, клейові та оздоблювальні матеріали. Широкий асортимент матеріалів у сучасній і перспективній гамі художньо-колеристичного оформлення з використанням нових технологій виготовляють кращі текстильні підприємства України, зокрема Донецький бавовняний комбінат, Тернопільське об'єднання "Текстерно", Рівненський та Житомирський льонокомбінати, Київський і Черкаський шовкові комбінати, Чернігівський концерн "Чексіл".

Виклад основного матеріалу

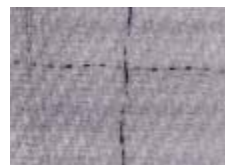
У сучасному світі відбувається поступова екологізація хімічної промисловості, утвердження екологічних цінностей, збереження стабільного екологічного стану навколишнього середовища. Увага приділяється створенню комфортних умов, забезпеченню безпеки життя і охорони здоров'я людини. Спостерігається стійка тенденція росту споживчого попиту на товари, до складу яких входять тільки екологічно чисті компоненти, а в ряді найбільш бажаних споживчих властивостей текстильних матеріалів не можна не відмітити антистатичну активність. Відображенням цього є сучасні системи сертифікації текстильних матеріалів, зокрема стандарт "Екотекс-100" та й інші системи оцінки якості текстильної продукції (ISO, DIN, AATCC), які діють в країнах ЄС та США.

В зв'язку з тим, що виникнення зарядів статичної електрики на полімерних матеріалах проявляється в дуже складній і різноманітній формі, і залежить від великої кількості факторів, відсутня єдина теорія, яка пояснює цей прояв. Недостатньо вивчена і електростатична поведінка сучасних матеріалів в процесі

виробництва та експлуатації, не вивчені умови і фактори їх електризації. Тому в наш час вчені докладають великі зусилля для вивчення такого прояву як статична електризація. Розробляються нові методи і засоби боротьби з цим негативним проявом. На виробництві впроваджуються нові матеріали для спецодягу і взуття, в структурі яких знаходяться матеріали, які нейтралізують статичний заряд або розподіляють його по всій поверхні. Для покращення виготовленої продукції, зниження браку, захисту обладнання, і насамперед захисту персоналу, впроваджуються прилади нейтралізації статичної електрики. В побуті все більше стали застосовуватись засоби пом'якшення і надання антистатичних властивостей. Від перманентних антистатиків стали відмовлятися, тому що вони негативно впливають на якість текстильних матеріалів. Надають більшу увагу обробці на виході готового виробу відповідних текстильних полотен шляхом застосування більш дорогої не перманентної антистатики [1, 2]. Проблема забезпечення електростатичної безпеки на будь-якому промисловому підприємстві була й залишається актуальною. Це пов'язано, насамперед, з тим, що електростатичний заряд (ЕРС) і розряд, досягаючи величини від кількох сотень вольтів до декількох тисяч вольт, може стати причиною вибуху, займання, порушити роботу електронного устаткування та привести до людських жертв і матеріальних втрат [3, 4]. Необхідно також прийняти до уваги вкрай негативний вплив статичної електрики на здоров'я людини [5, 6]. Для кожної галузі промисловості прийняті певні вимоги до електростатичної безпеки устаткування і персоналу. ЕРС чистих виробничих приміщеннях кваліфікується як один із критичних видів забруднення технологічного середовища, і тому вимоги по запобіганню утворення статичної електрики дуже суворі. При виробництві мікроелектронних компонентів і напівпровідникових приладів утворення статичної електрики категорично неприпустимо, струм може бути причиною різкого зниження виходу придатної продукції та утворення прихованих дефектів. До того ж, у зв'язку з мініатюризацією електронних компонентів, вимоги до контролю електростатичного заряду посилюються ще більше. У стандарті ESD - захисту (Electrostatic discharge - розряд) вказується, що при роботі сучасних електронних пристроїв неприпустимими є навіть досить низькі напруги електростатичного поля - менше 100 В/см [7], а в роботі [4] приводиться величина 5 В/см. Практично такі ж вимоги висуваються при виробництві точної медичної техніки і лікарських засобів: різні поверхні при електризації можуть притягати та утримувати аерозольні забруднення, до того ж багато підприємств хімічної й фармацевтичної галузей відносяться до вибухонебезпечних виробництв [3, 4].

Основним джерелом утворення електростатичного заряду є тертя різних матеріалів одного з іншим. Таким чином, потенційно завжди є причина його виникнення. В основному, електростатичні заряди в чистих приміщеннях генеруються при роботі устаткування, при ходьбі персоналу, при терті частин одягу одна об іншу, терті одягу операторів з робочими поверхнями столів та устаткуванням, а також при його роботі.

За більш ніж 60 років експлуатації чистих приміщень сформувалася індустрія виробництва особливих тканин для одягу персоналу чистих приміщень, до яких пред'являється ряд специфічних вимог. Три з яких обов'язкові: висока щільність переплетення, мінімальне власне запилення (тобто висока: абразивна стійкість) і гарні антистатичні властивості. Перші дві вимоги виконуються досить легко: тканини виготовляються з дуже тонких безперервних синтетичних ниток, які досить стійкі до тертя (найчастіше з поліефірних, поліамідних й, дуже рідко, з поліпропіленових). У той же час полімерна сполука тканин визначає їх підвищену електризацію: при русі операторів частини одягу труться одна з іншою, і на поверхні одягу генерується електростатичний заряд. Повністю запобігти утворенню статичної електрики практично неможливо. Тому дуже важливо, щоб тканина для технологічного одягу мала низьку здатність до електризації при терті й, головне, здатність швидко розсіювати виникаючий заряд, не допускаючи його нагромадження. Антистатичність тканин досягається тим, що до структури текстильних полотен вводять карбонові нитки, що володіють власними струмопровідними властивостями. Ці нитки розташовуються в структурі полотен у вигляді «сітки» (з розміром осередку від 2,5x2,5 мм до 16x16 мм) або у вигляді окремих ниток, розташованих паралельно одна одній на відстані від 2,5 мм до 16 мм (рис 1.)



а) права сторона б) ліва сторона

Рис. 1. Вигляд поверхні текстильного матеріалу з вплетеними карбоновими нитками

Всі виробники тканин для одягу чистих приміщень декларують, що тканини містять не менш 1% карбонових ниток, і що тканини мають задовільні антистатичні властивості. На жаль, як показують дослідження та досвід експлуатації одягу, при великій розмаїтості тканин для чистих приміщень, пропонуєваних різними фірмами, багато з них не є антистатичними, тобто їх електричний опір сягає більше 10^9 Ом [5, 6].

Для надійної оцінки електризованості тканин важливо вибрати показники, що характеризують ESD - властивості тканин, тобто характеризують їх здатність до розсіювання заряду. Важливим є отримати

стійкий антистатичний ефект до прання і при цьому суттєво не вплинути на фізико-механічні властивості текстильних матеріалів (жорсткість, капілярність). Для оцінки антистатичних властивостей рекомендується вимірювати: напруженість електростатичного поля, час стікання заряду, електричний опір матеріалів. Види ESD – вимірів: перевірка браслетів і взуття, вимірювання електричного опору матеріалів, напруженості електричного поля або електростатичного потенціалу (рис. 2); вимірювання часу стікання заряду.

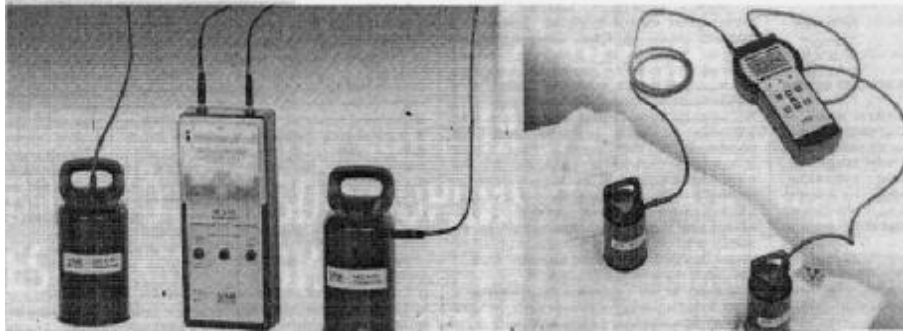


Рис. 2. Види ESD – приладів

Висновки

Користуватися приладами ESD - аудиту і моніторингу неважко, а крім того й корисно, так як володіння цим інструментарієм вберігає від придбання невідповідних товарів і дозволяє гарантувати працездатність системи ESD - захисту підприємства, що в остаточному підсумку позначиться на якості продукції [7-8].

Література

1. Алексашина О.Ф. Статическое электричество в чистых помещениях / О.Ф.Алексашина // Чистые помещения и технологические среды. – 2004. – №1. – С. 18-19.
2. Хэтчер С. Защита от статического электричества / С. Хэтчер // Чистые помещения и технологические среды. – 2004. – № 4. – С. 18-19.
3. ГОСТ 12.4.124-83 “Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования”. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 12 с.
4. Положення про порядок проведення навчання і перевірки знань ESD – контролерів.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.esda.org (дата звернення: 23.02.2012).
5. Власенко В.И. Антистатические свойства текстиля для чистых помещений./ В.И. Власенко // Сборник докладов III Международной конференции EL-TEX-98, Польша, Лодзь, ноябрь 1998.
6. Трегубов Д.В. Практические аспекты организации ESD-защиты предприятия. В помощь ESD-координатора. ESD-измерения / Д.В. Трегубов // Чистые помещения и технологические среды. – 2009. – № 3-4. – С. 74-77.
7. Halliday D. Fyzika, Část 3: Elektrina a magnetismus / D. Halliday, R. Resnick, J.Walker // Nakladatelství Vutium Brno a Prométheus Praha, 2003, -P. 563.
8. Charles Kittel Úvod do fyziky pevných látek/ Kittel Charles // Acadamia, Praha, 1985. -S.231.

References

1. Aleksashina O.F. Statesticheskoe elektrichestvo v chistyh pomescheniyah. Chistye pomescheniya i tehnologicheskie sredy. №1, 2004.- С. 18-19. [in Russian].
2. Hetcher S. Zashchita ot staticheskogo elektrichestva. Chistye pomescheniya i tehnologicheskie sredy. № 4, 2004.- С. 18-19. [in Russian].
3. GOST 12.4.124-83 “Sredstva zashchity ot statesticheskogo elektrichestva. Obschie tehicheskie trebovaniya”. [in Russian].
4. Polozhennya pro porjadok provedennya navchannya i perevirky znan` ESD – controleriv. [Electronic resource] : - Access mode: www.esda.org (date of appeal: 23.02.2012).
5. Vlasenko V.I. Antistaticheskie svoystva tekstilya dlya chistyh pomescheniy. Sbornik dokladov III Mezhdunarodnoy konferenczii EL-TEX-98, Poland, Lodz, November 1998. [in Russian].
6. Tregubov D.V. Prakticheskie aspekty organizaczii ESD-zashchity predpriyatiya. V pomoshch` ESD-koordinatora. ESD-izmireniya. Chistye pomescheniya i tehnologicheskie sredy. № 3-4, 2009.- С. 74-77. [in Russian].
7. Halliday D., Resnick R., Walker J. Part 3: Electricity and Magnetism. Nakladatelství Vutium Brno a Prométheus Praha, 2003, -P. 563. [in Czech].
8. Charles Kittel Introduction to Solid State Physics. Acadamia, Praha, 1985. -P.231. [in Czech].

Рецензія/Peer review : 11.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗТЯЖНОСТІ ТА ЗАКРУЧУВАНOSTІ ПОДВІЙНОГО НЕПОВНОГО ТРИКОТАЖУ

У роботі досліджено вплив порядку чергування лицьових та виворотних петельних стовпчиків в структурі подвійного неповного трикотажу на його закручуваність та розтяжність. Експериментальним шляхом підтверджено достовірність запропонованих теоретичних залежностей для визначення дійсного й приведеного коефіцієнтів розтяжності та коефіцієнта закручуваності подвійного неповного трикотажу, виробленого на базі ластика 1+1 з будь-яким порядком чергування лицьових та виворотних петельних стовпчиків у рапорті переплетення.

Ключові слова: неповний трикотаж, структура неповного трикотажу, закручуваність неповного трикотажу, розтяжність неповного трикотажу.

L.YE. GALAVSKA

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF EXTENSIBILITY AND CURLING OF INCOMPLETE DOUBLE KNITTINGS

In this paper, the effect of the consecutive order of face and backing wales in structure of incomplete double knit for extensibility and curl. Experimentally confirmed the reliability of the proposed theoretical dependencies to determine: the actual coefficient of extensibility; the reduced coefficient of extensibility; the coefficient of curl incomplete double knit, which produced an rib 1+1 with any consecutive order of face and backing wales in the repeat of stitch.

Established that curl of incomplete ribs depends on the value in the repeat of stitch face and backing wales it at a constant value. Curl of wales increases with eraser repeat of incomplete rib with the same number of wales on face and backing side. The actual coefficient of extensibility of incomplete rib depends on the number of missed wales and consecutive order to repeat. The reduced coefficient of extensibility of double incomplete stitches depends only on the number of missed wales in the repeat of stitch.

Keywords: incomplete knitted fabric, incomplete knitted fabric structure, curling of incomplete double knitwear, extensibility of incomplete double knitwear.

Постановка задачі

На підставі проведених теоретичних досліджень структури та розтяжності даного виду трикотажу запропоновані формули для визначення коефіцієнта розтяжності подвійного неповного трикотажу з будь-якою кількістю та порядком чергування пропущених петельних стовпчиків в його структурі [1]. Однак виведені залежності вимагають практичного підтвердження їх достовірності. З цією метою на плоскофанговій машині 8-го класу з напіввовняної пряжі лінійної густини 31X2 текс вироблено зразки подвійного неповного трикотажу з різною кількістю і порядком чергування пропущених петельних стовпчиків у рапорті переплетення. Перед випробуваннями усі дослідні зразки трикотажу відповідно до ГОСТ 13711 - 82 були приведені в умовно-рівноважний стан.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанням дослідження розтяжності кулірного трикотажу ластичних переплетень присвячені роботи багатьох відомих вчених, таких як Шалов І.І., Далідович О.С., Кудрявін Л.О. [2], Кобляков О.І. [3], Ровінська Л.П. та Труєвцев О.В. [4] та ін. У роботі [5] проведено аналіз факторів, що впливають на закручуваність трикотажних полотен, з метою вироблення рівноважної структури. Автором роботи [6] досліджено розтяжність комбінованого трикотажу на базі неповних переплетень з метою прогнозування його експлуатаційних характеристик. Однак в усіх цих роботах пояснюється лише фізичний зміст явища закручуваності в структурі подвійного неповного трикотажу і відповідно зміни його розтяжності. При цьому відсутні дослідження, направлені на вивчення характеру впливу кількості та порядку чергування пропущених петельних стовпчиків на ступінь розтяжності та закручуваності вздовж петельних стовпчиків подвійного неповного трикотажу.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є вивчення характеру впливу порядку чергування лицьових та виворотних петельних стовпчиків на закручуваність та розтяжність подвійного неповного трикотажу; практичне підтвердження достовірності запропонованих формул для визначення коефіцієнта закручуваності та приведеного коефіцієнта розтяжності подвійного неповного трикотажу [1] у відповідності до порядку чергування лицьових та виворотних петельних стовпчиків у рапорті переплетення.

Виклад основного матеріалу

З метою виявлення впливу порядку чергування лицьових та виворотних петельних стовпчиків на ступінь закручуваності вздовж петельних стовпчиків та розтяжності дослідні зразки вироблялися при однаковій загальній кількості працюючих голок. Заміри ширини дослідних зразків трикотажу виконано у

вільному стані, тобто з урахуванням закручуваності. Величину видовження дослідних зразків подвійного неповного трикотажу та трикотажу базових переплетень ластик 1+1 та гладь під час їх розтягання заданим зусиллям, меншим ніж розривне, встановлено на релаксметрі типу "стійка" (по 10 випробувань на кожен вид трикотажу з різним рапортом переплетення). При цьому зусилля дорівнювало 6Н (ГОСТ 8847-85, ДСТУ-3823-98). Таке зусилля дозволяє встановити лінійні розміри деталей виробу, що забезпечуватимуть її вільне надягання та нормальний тиск на тіло людини у процесі носіння.

Використовуючи дані експериментальних досліджень за формулами (6), (2), (8) [1] розраховано відповідно коефіцієнт закручуваності, дійсний і приведений коефіцієнти розтяжності для всіх видів рапортів подвійного неповного трикотажу. Визначено також величини дійсних коефіцієнтів розтяжності базових переплетень. За формулою (16) [1], що включає експериментальні значення дійсних коефіцієнтів розтяжності ластика 1+1 та гладі, виконано теоретичні розрахунки приведених коефіцієнтів розтяжності подвійного неповного трикотажу з різним порядком чергування лицьових та виворотних петельних стовпчиків у рапорті переплетення. Результати теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень подвійного неповного трикотажу наведені у таблиці 1. Відхилення значень приведених коефіцієнтів розтяжності, отриманих теоретично шляхом розрахунків та на підставі експериментальних даних, не перевищують 6% (табл. 1), що є допустимим для текстильних матеріалів.

Визначення кількості працюючих голок у рапорті по ширині трикотажу переплетень, наведених у таблиці 1, розглянемо на прикладі подвійного неповного трикотажу переплетення ластик 2 + 2. Число працюючих голок, які беруть участь в утворенні лицьової сторони трикотажу, $l_{прац.л}=2$, а виворотної $l_{прац.в}=2$. Рапорт по ширині $R_{впрац}$ такого переплетення дорівнює чотирьом петельним стовпчикам ($R_{впрац}=4$).

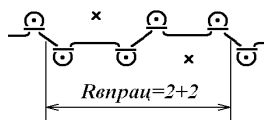


Рис. 1. Структура переплетення ластик 2+2

З графічного запису (рис.1) видно, що в ластикі 2+2 з рапортом розставлення голок $R_{в}=3+3=6$ з роботи вимкнено дві голки. Таким чином, кількість працюючих голок у рапорті складає чотири (у частці від $R_{в}$ - 4/6). У випадку іншого чергування вимкнених голок їх кількість в частках визначено аналогічним чином на підставі графічного запису.

Таблиця 1

Результати досліджень закручуваності вздовж петельних стовпчиків та розтяжності подвійного неповного трикотажу з однаковою кількістю працюючих голок у рапорті

Рапорт переплетення, $R_{впрац}$	Кількість працюючих голок		Кількість вимкнених голок		Відношення лиц. до вивор. пет. ст.	Відсоток лиц. та вивор. пет. ст. у рапорті переплетення, %	Експериментальні дані			Теоретичне значення приведенного коеф. розтяжності, $R_{пр.е.}$	Відхилення $R_{пр.е.}$ від $R_{пр.т.}$, %
	в частках від $R_{в}$	у % від $R_{в}$	в частках	у %			коеф. закручуваності, $K_{закр.}$	дійсний коеф. розтяжності, $R_{д}$	приведений коеф. розтяжності, $R_{пр.е.}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R_{впрац}=3$											
2+1	3/4	75	1/4	25	2	67/33	0.800	3.93	3.34	3.31	-0.89
$R_{впрац}=4$											
2+2	2/3	67	1/3	33	1	50/50	0.535	4.54	2.89	2.96	2.40
3+1	2/3	67	1/3	33	3	75/25	0.780	3.47	2.93	2.96	1.02
$R_{впрац}=5$											
3+2	5/8	62.5	3/8	37.5	1.5	60/40	0.510	4.59	2.83	2.78	-1.59
4+1	5/8	62.5	3/8	37.5	4	80/20	0.780	3.24	2.75	2.78	1.27
$R_{впрац}=6$											
3+3	6/10	60	4/10	40	1	50/50	0.364	5.35	2.58	2.68	3.88
4+2	6/10	60	4/10	40	2	67/33	0.459	4.47	2.59	2.68	3.47
5+1	6/10	60	4/10	40	5	83/17	0.79	3.00	2.58	2.68	3.88
$R_{впрац}=7$											
4+3	7/12	58	5/12	42	1.3	57/43	0.353	5.40	2.55	2.61	2.35
5+2	7/12	58	5/12	42	2.5	71/29	0.519	3.93	2.52	2.61	3.57
6+1	7/12	58	5/12	42	6	86/14	0.800	2.94	2.55	2.61	2.35
$R_{впрац}=8$											
4+4	8/14	57	6/14	43	1	50/50	0.297	6.35	2.59	2.56	-1.16
5+3	8/14	57	6/14	43	1.7	63/27	0.400	4.92	2.57	2.56	-0.39
6+2	8/14	57	6/14	43	3	75/25	0.558	3.87	2.60	2.56	-1.54
$R_{впрац}=9$											
5+4	9/16	56	7/16	44	1.25	56/44	0.316	6.06	2.60	2.52	-2.98

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6+3	9/16	56	7/16	44	2	67/33	0.434	4.71	2.61	2.52	-3.45
Рвпрац =10											
5+5	10/18	55.6	8/18	44.4	1	50/50	0.267	6.73	2.53	2.49	-1.45
6+4	10/18	55.6	8/18	44.4	1.5	60/40	0.338	5.71	2.59	2.49	-3.70
7+3	10/18	55.6	8/18	44.4	2.3	70/30	0.474	4.12	2.48	2.49	0.40
8+2	10/18	55.6	8/18	44.4	4	80/20	0.611	3.39	2.46	2.49	1.21
9+1	10/18	55.6	8/18	44.4	9	90/10	0.800	2.76	2.41	2.49	3.32
Рвпрац =11											
6+5	11/20	54.5	9/20	45	1.2	55/45	0.286	6.35	2.53	2.47	-2.37
Рвпрац =12											
6+6	12/22	54.5	10/22	45.4	1	50/50	0.258	7.05	2.56	2.45	-4.30
7+5	12/22	54.5	10/22	45.4	1.4	58/42	0.324	5.62	2.50	2.45	-2.00
8+4	12/22	54.5	10/22	45.4	2	67/33	0.416	4.75	2.56	2.45	-4.30
9+3	12/22	54.5	10/22	45.4	3	75/25	0.522	3.98	2.52	2.45	-2.78
10+2	12/22	54.5	10/22	45.4	5	83/17	0.623	3.13	2.33	2.45	5.15
11+1	12/22	54.5	10/22	45.4	11	92/18	0.810	2.72	2.39	2.45	2.51

Примітка: дійсний коефіцієнт розтяжності переплетення ластик 1+1 $R_l = 4,36$; переплетення гладь $R_{gl} = 2,26$

На підставі експериментальних значень коефіцієнтів закручуваності, дійсних і приведених коефіцієнтів розтяжності подвійного неповного трикотажу переплетень різних рапортів ($R_{впрац}=4ч12$), побудовані графіки залежностей (рис. 2-8).

Рис. 2. Залежність коефіцієнта закручуваності від співвідношення лиц. та вивор. пет. стовпчиків у рапорті при постійній величині рапорту ($R_{впрац}=4ч12$)

Рис. 3. Залежність коефіцієнта закручуваності від кількості пропущених пет. стовпчиків (величина співвідношення голок, що приймають участь у в'язанні лиц. та вивор. сторін рапорту постійна)

З графіків (рис. 2) залежності коефіцієнта закручуваності трикотажу від величини відношення лицьових петельних стовпчиків до виворотних у рапорті трикотажу подвійного неповного переплетення при постійній його величині видно, що зі збільшенням цього відношення коефіцієнт закручуваності збільшується. Причому залежність близька до експоненціальної. Це можна пояснити тим, що у рапорті

переплетення збільшується кількість поруч розташованих петель гладі, внаслідок чого ступінь закручуваності вздовж петельних стовпчиків зменшується і, відповідно, відбувається збільшення ширини трикотажу в умовно-рівноважному стані.

На рисунку 3 наведено графіки залежності коефіцієнта закручуваності трикотажу від кількості пропущених петельних стовпчиків при постійній величині відношення лицьових до виворотних петельних стовпчиків у рапорті переплетення. Одержані графіки ілюструють лінійний характер зменшення коефіцієнта закручуваності зі збільшенням кількості пропущених петельних стовпчиків та рапорту неповного ластика. При цьому збільшення співвідношення кількості лицьових та виворотних петельних стовпчиків у рапорті неповного ластика призводить до збільшення коефіцієнта закручуваності. Отже ступінь закручуваності вздовж петельних стовпчиків зменшується.

Рис. 4. Залежність коефіцієнта закручуваності від кількості пропущених пет. стовпчиків при постійній кількості працюючих голок у рапорті, що формують виворотну сторону (Іпрац.в.=1ч6)

З графіків залежності коефіцієнта закручуваності від кількості пропущених петельних стовпчиків при постійній величині рапорту однієї із сторін подвійного неповного трикотажу (рис. 4) видно, що залежність близька до параболічної з мінімумом, що відповідає коефіцієнту закручуваності ластика з рівною кількістю лицьових та виворотних петельних стовпчиків у рапорті. Це пояснюється тим, що спочатку зі збільшенням кількості пропущених петельних стовпчиків структура подвійного неповного переплетення наближається до структури ластиків підвищених рапортів, які мають значний ступінь закручуваності вздовж петельних стовпчиків (точка мінімуму на кривій), далі зі збільшенням кількості пропущених петельних стовпчиків у структурі трикотажу переважають петлі гладі, що призводить до збільшення його ширини в умовно-рівноважному стані і, таким чином, закручуваність вздовж петельних стовпчиків практично не спостерігається.

Рис. 5 – Залежність дійсного коефіцієнта розтяжності від співвідношення лиц. та вивор. пет. стовпчиків у рапорті при постійній величині рапорту (Rвпрац=4ч12)

Графіки залежності дійсного коефіцієнта розтяжності від відношення лицьових петельних стовпчиків до виворотних у рапорті при постійній його величині (рис. 5) ілюструють наступне. Зі збільшенням цього співвідношення дійсний коефіцієнт розтяжності зменшується і прагне до коефіцієнта розтяжності базового одинарного переплетення гладь. Це пояснюється тим, що зі збільшенням співвідношення у рапорті трикотажу неповного переплетення переважає ділянка з поруч розташованими елементами структури трикотажу переплетення гладь, яке, як відомо, має меншу розтяжність у порівнянні з ластиком 1+1.

Рис. 6. Залежність дійсного коефіцієнта розтяжності від кількості пропущених пет. стовпчиків (величина співвідношення голок, що приймають участь у в'язанні лиц. та вивор. сторін рапорту постійна)

На рисунку 6 наведено графіки залежності дійсного коефіцієнта розтяжності від кількості пропущених петельних стовпчиків при постійній величині відношення лицьових до виворітних петельних стовпчиків у рапорті трикотажу подвійного неповного переплетення. З отриманих кривих видно, що зі збільшенням кількості пропущених петельних стовпчиків дійсний коефіцієнт розтяжності збільшується. Це пояснюється тим, що зменшується ширина трикотажу неповного ластика за рахунок збільшення ступеня закручуваності вздовж петельних стовпчиків, внаслідок чого і збільшується дійсний коефіцієнт розтяжності (див. рис. 3).

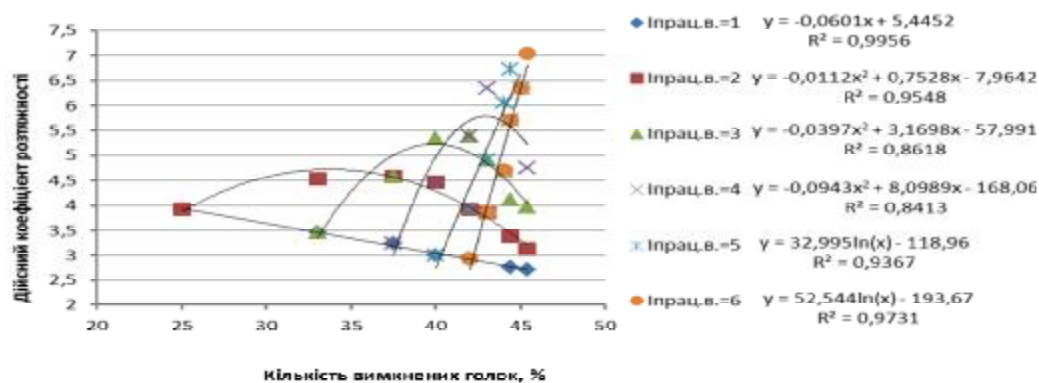


Рис. 7. Залежність дійсного коефіцієнта розтяжності від кількості пропущених пет. стовпчиків при постійній кількості працюючих голок у рапорті, що формують виворітну сторону (nпрац.в.=1ч6)

З графіків залежності дійсного коефіцієнта розтяжності від кількості пропущених петельних стовпчиків при постійній величині рапорту однієї зі сторін неповного ластика (рис. 7) випливає, що дійсний коефіцієнт розтяжності змінюється по кривій, близькій до параболи з максимумом, що відповідає дійсному коефіцієнту розтяжності трикотажу переплетення ластик з однаковою кількістю лицьових та виворітних петельних стовпчиків у рапорті переплетення. Це пояснюється з тих же міркувань, що і при розгляді графіків, представлених на рисунку 6. Таким чином, зі зменшенням коефіцієнта закручуваності дійсний коефіцієнт розтяжності збільшується за рахунок зменшення ширини трикотажу в умовно-рівноважному стані і навпаки зі збільшенням коефіцієнта закручуваності - зменшується.

Рис. 8. Залежність приведенного коефіцієнта розтяжності від кількості вимкнених голок (Rвпрац.=2ч12)

Аналіз графіка залежності приведенного коефіцієнта розтяжності від кількості пропущених

петельних стовпчиків (рис. 8) дозволяє зробити висновок про те, що зі збільшенням кількості пропущених петельних стовпчиків приведений коефіцієнт розтяжності зменшується. Це пояснюється тим, що у рапорті переплетення збільшується число протяжок, які з'єднують сусідні петельні стовпчики одного шару трикотажу. Це у свою чергу призводить до зменшення величини заходу петельних стовпчиків одного шару за інший. Як відомо, ластик у порівнянні з гладдю має більшу розтяжність саме за рахунок заходу петельних стовпчиків. Також слід зазначити, що приведений коефіцієнт розтяжності не залежить від порядку чергування вимкнених голок при постійній їх кількості, тобто, не залежить від співвідношення лицьових і виворотних петельних стовпчиків у рапорті переплетення при постійній його величині.

Висновки

У результаті проведення низки дослідницьких і перевірочних експериментів можна зробити наступні висновки:

1. Ширина подвійного неповного трикотажу в умовно-рівноважному стані, менше ширини трикотажу базового переплетення при однаковому рапорті розстановки голок за рахунок закручуваності вздовж петельних стовпчиків.
2. Закручуваність неповних ластиків залежить від співвідношення у рапорті переплетення $R_{впрац.}$ лицьових і виворотних петельних стовпчиків при постійній його величині ($R_{впрац.} = \text{const}$).
3. Зі збільшенням рапорту $R_{впрац.}$ трикотажу неповного ластика при однаковій кількості петельних стовпчиків з лицьової та виворотної сторін закручуваність вздовж петельних стовпчиків зростає, внаслідок чого збільшується і дійсний коефіцієнт розтяжності.
4. Дійсний коефіцієнт розтяжності трикотажу неповний ластик залежить від кількості пропущених петельних стовпчиків і порядку їх чергування у рапорті.
5. Експериментально встановлено (табл. 1, рис. 4), що якщо у рапорті трикотажу неповний ластик більше ніж 80% петельних стовпчиків утворені голками, що працюють в одній голочниці, то закручуваність вздовж петельних стовпчиків практично не спостерігається. Розтяжність такого трикотажу близька до розтяжності трикотажу переплетення гладь ($R_{гл} = 2,26$).
6. Приведений коефіцієнт розтяжності як одинарних, так і подвійних неповних переплетень залежить тільки від кількості пропущених петельних стовпчиків у рапорті переплетення (табл.1).
7. Перевірочний експеримент показав, що відхилення значень коефіцієнтів розтяжності трикотажу подвійних неповних переплетень, отриманих теоретичним шляхом і на підставі експериментальних даних не перевищує 6% (табл.1, рис. 8). Даний факт підтверджує доцільність використання встановлених нами аналітичних виразів для розрахунку приведеного і дійсного коефіцієнтів розтяжності трикотажу подвійних неповних переплетень.

Література

1. Галавська Л.Є. Теоретичні аспекти визначення розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу. /Л.Є. Галавська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 107 – 110.
2. Шалов И.И. Технология трикотажа / И.И. Шалов, А.С. Далидович, Л.А. Кудрявин. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 376с.
3. Кобляков А.И. Структура и механические свойства трикотажа / А.И. Кобляков. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 240с.
4. Ровинская Л.П. Трикотаж неполных переплетений / Л.П. Ровинская, А.В. Туревцев. – СПб.: РИО СПИТЛП им. С.М. Кирова, 1992. – 77с.
5. Журавлева Н.А. Разработка технологии и ассортимента высокоэластичных трикотажных полотен улучшенного качества для бельевых и спортивных изделий : Дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Журавлева Надежда Александровна. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006. - 340с.
6. Григорьева Е.Г. Разработка структур комбинированного трикотажа с заданными свойствами: дисс... канд. техн. наук: 05.19.03 / Григорьева Елена Геннадиевна. – СПб: СПбГУТД, 2002. – 179с.

References

1. Halavska L.Ye. Teoretychni aspekty vyznachennia shyryny podviinoho nepovnoho trykotazhu. /L.Ye. Halavska // Vynykh KhNU, 2015. – №2. – S.107-110.
2. Shalov Y.Y., Dalydovych A.C., Kudriavyn L.A. Tekhnolohiya trykotazha. Lehpromby`tyzdat, 1986, 376s.
3. Kobliakov A.Y. Struktura y mekhanicheskiye svoystva trykotazha. – M.: Lehkaia yndustryia, 1973. – 240s.
4. Rovynskaia L.P., Truevtsev A.V. Trykotazh nepolny`kh perepleteniy. RYO SPYTLP ym. S.M. Kyrova, 1992, 77s.
5. Zhuravleva N.A. Razrabotka tekhnolohyy y assortymenta vysokoe`lastychny`kh trykotazhny`kh poloten uluchshennogo kachestva dlia belevy`kh y sportyvny`kh yzdeliy : Dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.19.02 / Zhuravleva Nadezhda Aleksandrovna. – M.: MHTU ym. A.N. Kosyhyina, 2006. - 340s.
6. Hryhoreva E.H. Razrabotka struktur kombinyrovannogo trykotazha s zadanny`my svoystvamy: dyss... kand. tekhn. nauk /SPbHUTD. – Spb, 2002. – 179s.

Рецензія/Peer review : 1.4.2015 р. Надрукована/Printed : 13.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Березненко С.М.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОДНОДОМНИХ І ДВОДОМНИХ КОНОПЕЛЬ

В статті представлено порівняльний аналіз однодомних і дводомних конопель, охарактеризовано технологічні особливості різних сортів однодомних конопель та статевих типів дводомних конопель, а також доведено наявність суттєвих відмінностей однодомних і дводомних конопель за фізико-механічними показниками. Виявлено головні закономірності зміни якісних показників волокна однодомних і дводомних конопель.

Ключові слова: технологічні ознаки, вихід волокна, лінійна щільність, однодомні та дводомні коноплі.

N.P. LYALINA

Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL FEATURES OF MONOECIOUS AND DIOICA HEMP

The main purpose is to conduct a comparative analysis of the technological features of monoecious and dioica hemp.

Today wide application are monoecious hemp varieties. But their composition and morphological features not allow you to apply technologies that are used for harvesting and primary processing of dioica hemp. Therefore, an important task is to study the features of monoecious hemp, which will in the future needed to select modes and parameters of its.

The article presents a comparative analysis of monoecious and dioica hemp, described the technological characteristics of different varieties monoecious hemp and hemp dioica sex types, and found that there are significant differences between monoecious and dioica hemp on physical - mechanical characteristics. The main regularities of changes in quality indicators monoecious fiber and hemp dioica.

Keywords: technological features, the amount of fiber, linear density, monoecious hemp and dioica.

Вступ

На даний час широкого розповсюдження набувають однодомні сорти конопель. Однак їх склад і морфологічні властивості не дозволяють використовувати технології, які застосовують для збирання та первинної обробки дводомних конопель. Популяція дводомних конопель складається з двох статевих типів – матірки та плоскінь, які відрізняються між собою комплексом біологічних і господарсько-цінних ознак, у тому числі тривалістю вегетації [1]. Саме ці відмінності змушують підбирати окремі технологічні операції для кожного виду дводомних конопель. Тому важливим завданням є визначення технологічних особливостей, які дозволять в майбутньому вибирати режими та параметри обробки однодомних конопель.

Постановка проблеми

Наукові дослідження, які протягом багатьох років здійснюються провідними вченими Інституту луб'яних культур НААНУ (Вировець В.Г., Мигаль М.Д., Жуплатова Л.М.), спрямовані на вивчення особливостей морфологічної будови стебла й накопичення волокна в ньому, визначення особливостей волокнистого шару та окремих його складових, закономірностей зміни анатомічних ознак залежно від природних та агротехнічних факторів. Проведено порівняльне вивчення низько волокнистих зразків конопель із сучасними високо волокнистими сортами за кількісно-якісними ознаками первинного і вторинного волокна. Однак, незважаючи на детальний аналіз різних сортів конопель, чітко не визначено ті особливі технологічні характеристики, які б могли стати основою прогнозування й розробки параметрів налагодження обладнання та режимів обробки однодомних конопель. Тому основним завданням дослідження є порівняльний аналіз технологічних особливостей однодомних і дводомних конопель.

Аналіз останніх результатів

Для конопель характерна наявність розмаїття рослин за первинними та вторинними ознаками статі. Статеві відмінності дводомних і однодомних конопель враховуються в біологічних дослідженнях.

За ознакою статі рослини конопель діляться на дві статеві форми – дводомну й однодомну, а за співвідношенням чоловічих і жіночих квіток у суцвітті розділяються на статеві типи – матірка і плоскінь.

Матірка і плоскінь відрізняються між собою за комплексом біологічних і господарсько-цінних ознак, у тому періоді вегетації. Плоскінь досягає на 30-40 днів раніше і цим змушує застосовувати дворазове збирання стеблостою: спочатку вручну вибирати плоскінь, а потім механізовано скошувати матірку. Це спонукало вчених до створення сортів однодомних конопель, рослини яких дозрівають одночасно.

Найважливішою особливістю конопель є те, що вони дають два види продукції – волокно та насіння. Особливо проблематичним залишається питання поліпшення якісних показників волокна. Якщо в підвищенні продуктивності рослин конопель за волокном досягнуто значних успіхів, то фізико-механічні показники мало змінилися. За окремими якісними ознаками волокна показники дещо поліпшилися, а за іншими – погіршилися. Застосування деяких селекційних методів підвищення якості волокна поки що не дало відчутних позитивних результатів [2].

Вивчення морфологічних особливостей стебел конопель має важливе значення, оскільки в них формується волокно. Продуктивність окремих рослин конопель має кореляційний зв'язок переважно з морфологічними ознаками – довжиною й товщиною рослин.

Розмір стебла – основний морфологічний показник, що визначає продуктивність рослин за волокном. Величина стебла визначається комплексом складових, але найважливішими показниками є довжина та діаметр стебла.

Біометричні вимірювання показали, що належність рослин до того або іншого селекційного сорту зовнішньо виявляється відмінностями за довжиною та діаметром стебел (табл. 1).

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика сортів однодомних і дводомних конопель
за довжиною та діаметром стебел**

Сорт конопель		Довжина стебла, см		Діаметр стебла, мм
		загальна	технічна	
дводомні	Єрмаківські місцеві (матірка)	158,6	128,6	8,0
	Єрмаківські місцеві (плоскінь)	184,0	117,8	5,9
	Глухівські 10 (матірка)	194,0	136,7	9,1
	Глухівські 10 (плоскінь)	223,1	137,6	8,3
однодомні	Золотоніські 11	247,3	201,5	7,4
	ЮСО-31	214,1	158,4	6,2

Дані таблиці 1 свідчать про наявні відмінності за морфологічними ознаками не тільки між однодомними та дводомними коноплями, але й між рослинами дводомних конопель – матіркою та плоскінь: плоскінь вища за матірку, а стебла сортів однодомних конопель набагато вищі, ніж плоскінь (особливо південні коноплі). Ці відмінності за біометричними показниками дають можливість стверджувати, що й технологічні показники, такі як вихід волокна, міцність та гнучкість, теж будуть відрізнятися.

Попередні дослідження, які здійснювалися в лабораторіях Херсонського національного технічного університету спільно з Інститутом луб'яних культур (м. Глухів), свідчать про відмінність за технологічними ознаками не тільки між рослинами дводомних та однодомних конопель, а й між різними сортами однодомних конопель (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльна характеристика дводомних і однодомних конопель за технологічними показниками

Показники	Дводомні				Однодомні	
	Єрмаківські місцеві		Глухівські 10		Золотоніські 11	ЮСО-31
	плоскінь	матірка	плоскінь	матірка		
Вихід волокна, %	18,9	17,9	21,7	20,2	40,0	42,0
Розривне навантаження, кгс	26,4	28,6	29,4	31,8	22,0	26,8
Гнучкість, мм	18,1	17,6	20,8	19,4	23,2	32,5
Лінійна щільність, текс	20,1	22,4	23,6	25,3	39,1	41,3

Результати досліджень показують, що між зразками однодомних і дводомних конопель спостерігаються значні відмінності за фізико-механічними показниками волокна. Так, дводомні коноплі мають менший вихід волокна та більшу міцність порівняно з однодомними коноплями, проте лінійна щільність однодомних конопель значно перевищує цей показник у дводомних конопель, що значно погіршує якість волокна однодомних конопель.

Таким чином, селекційно виведені однодомні сорти конопель мають підвищений вміст волокна в стеблі, проте це не сприяє поліпшенню якісних показників волокнопродукції, зокрема розривного навантаження та лінійної щільності.

Морфологічні й технологічні ознаки конопель поєднані між собою. Так, розмір стебла, а особливо його діаметр, є найважливішою морфологічною ознакою, що змінює якісні показники волокна.

Дослідження, проведені Дюковим Р.Ф., свідчать про суттєву залежність розривного навантаження волокна конопель від діаметра стебел: зі збільшенням товщини стебла знижується міцність волокна, а зі збільшенням довжини та діаметра стебла зростає показник розривного навантаження волокна [3].

У цілому технологічні показники волокна конопель зі збільшенням розміру стебла погіршуються: у стебел більшого розміру знижуються показники розривного навантаження та гнучкості, а лінійна щільність підвищується, що знижує якість волокна.

Відомо, що волокно конопель формується у стеблах в процесі росту й розвитку рослин упродовж всього періоду вегетації. Тому виникає необхідність вивчення мінливості якісних показників волокна залежно від фази збирання стеблостою. Для конопель це є дуже важливим, оскільки збирання стеблостою у виробництві проводиться на зеленці і двобічне використання. За результатами дослідження Лесика Б.В., вихід довгого волокна найвищий у фазах початку відцвітання та масового відцвітання плоскінь. Коноплі,

зібрані у більш ранні строки, дають меншу кількість довгого волокна. Показник розривного навантаження змінюється так само. Тому оптимальними строками збирання дводомних конопель на зеленець є фази відцвітання та масового відцвітання плосконі. За даними Демкина А.П. для однодомних конопель оптимальними строками збирання стеблостою на зеленець є фаза початку стиглості окремих насіння у суцвітті [4,5]. При збиранні конопель на двобічне використання необхідно враховувати не лише стан розвитку волокна у стеблості, але й врожай насіння. Тому оптимальним строком збирання конопель на насіння є фаза стиглості 75% насіння в суцвітті у більшості рослин, що відповідає прийнятним строкам збирання на волокно.

Висновки

Таким чином, на основі попередніх досліджень та аналізу літературних джерел виявлено головні закономірності зміни якісних показників волокна однодомних і дводомних конопель. Технологічні ознаки волокна конопель змінюються в залежності від багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів: розміру стебла, місця формування волокна уздовж стебла, сорту, статевого типу, добрив, строку збирання врожаю та способів виділення волокна із стебла. Селекційно виведені однодомні сорти конопель відрізняються за морфологічними ознаками від дводомних конопель. Аналіз анатомічної та морфологічної будови стебел конопель, фізико-механічних характеристик і хімічного складу волокна свідчить, що між сировиною, одержаною з безнаркотичних однодомних та дводомних конопель, спостерігаються значні відмінності. Встановлено, що в процесі селекції із сучасними сортами конопель відбулися зміни, а саме: зниження вмісту наркотичних речовин (каннабіноїдів), підвищення виходу довгого волокна, зростання продуктивності стебел і довгого волокна. Технологічні показники, такі як вихід волокна, його міцність та лінійна щільність, теж зазнали суттєвих змін: однодомні коноплі мають більш високі показники довжини, діаметра стебел та виходу волокна, проте їх якість погіршилася.

На основі теоретичних досліджень зроблено припущення про неможливість застосування технологій обробки стебел дводомних конопель для сучасних сортів безнаркотичних однодомних конопель. Тому необхідно розробити такі режими та параметри обробки однодомних конопель, які б враховували їх технологічні особливості.

Література

1. Мигаль М.Д. Біологія луб'яних волокон конопель / М. Д. Мигаль. – Суми: ТОВ «ТД «Папірус», 2011. – 390 с.
2. Вировець В.Г. Деякі аспекти селекції на підвищення якості волокна конопель / В.Г. Вировець, І.І. Щербань, М.П. Мигун та ін. // Селекція і насінництво. – 1993. – Вип. 74. – С. 8-11.
3. Дюков Р.Ф. О качестве конопля в зависимости от условий ее выращивания / Р.Ф. Дюков // Сельское хозяйство. – 1956. – №3. – С. 39-41.
4. Лесик Б.В. Приемы повышения качества лубяного волокна (конопля, кенаф, джут) / Б.В. Лесик. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 231 с.
5. Демкин А.П. Сроки уборки конопля / А.П. Демкин // Конопля. – М.: Колос, 1978. – С. 207-217.

References

1. Migal M.D. Biologia lubianikh volokon konopel / Mikola Dmitrovich Migal. – Sumy: TOV «TD «Papirus», 2011. – 390 p.
2. Virovecz V.G. Deiaki aspekti selekcii na pidvishchennia yakosti volokna konopel / V.G. Virovecz, I.I. Shcherban, M.P. Migun ta in. // Selekciiia I nasinnicztvo. – Kiev.: Urozhai, 1993. – Vol. 74. – pp. 8-11.
3. Dyukov R.F. O kachestve konopli v zavisimosti ot uslovii eyo vy`rashhivaniia / R.F. Dyukov // Sel`skoe xoziajstvo. – 1956. – No.3. – pp. 39-41.
4. Lesik B.V. Priyomy` povы`sheniia kachestva lubianogo volokna (konoplia, kenaf, dzhut) / B.V. Lesik. – Mscow: Selkhozgiz, - 1958. – 231 p.
5. Demkin A.P. Sroki uborki konopli / A.P. Demkin // Konoplia. – Moscow: Kolos, - 1978. – p. 207-217.

Рецензія/Peer review : 17.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Рецензент: , д.т.н., професор Чурсіна Л.А.

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ БЕЗПЕЧНОСТІ М'ЯКОНАБИВНИХ ІГРАШОК ВИМОГАМ ТЕХНІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ

В роботі висвітлено питання щодо особливостей застосування технічного регулювання, зокрема процедури оцінювання відповідності безпечності м'яконабивних іграшок вимогам технічного регламенту. Проаналізовано законодавчо-нормативні акти, що регламентують особливості проведення процедур оцінювання відповідності іграшок. Охарактеризовано етапи проведення та послідовність виконання робіт з оцінювання відповідності іграшок м'яконабивних.

Ключові слова: іграшка, технічний регламент, оцінювання відповідності, декларація про відповідність, Національний знак відповідності, орган з Оцінки відповідності, технічний нагляд, уповноважений представник виробника.

O.Z. MYKYTYN

Lviv Academy of Commerce

PECULIARITIES OF ASSESSING SAFETY CONFORMITY OF SOFT TOYS TO TECHNICAL REGULATIONS

The article deals with the issue of the application peculiarities of technical regulations, in particular the procedure of assessing the safety conformity of soft toys to the requirements of technical regulations. Laws and regulations that regulate the procedural peculiarities of safety conformity assessment of toys are analyzed. The stages and sequence of work concerning the safety conformity assessment of soft toys are characterized.

Keywords: toy, technical regulations, conformity assessment, declaration of conformity, National certification mark, conformity assessment bodies, technical supervision, authorized representative of the manufacturer.

Вступ

З виходом українських підприємств на зовнішній ринок та доступністю українського ринку для зарубіжних фірм, проблема якості продукції стала пріоритетною для вітчизняного товаровиробника. У розвинених країнах світу питання підвищення якості посідає провідне місце у забезпеченні конкурентоспроможності товарів культурно-побутового призначення, в тому числі й іграшок.

Від показників якості у галузі на сьогоднішній день залежить, чи зможе економіка України та її підприємства швидко інтегруватися у світове господарство, чи ввійде Україна у світове товариство як рівноправний партнер, або ж залишиться сировинним придатком. Успішна інтеграція українських підприємств неможлива без стабільної якості і на цій основі забезпечення конкурентоспроможності продукції є основним завданням виробників.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день до торговельної мережі України для реалізації надходить багато товарів дитячого асортименту низької якості як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Більше 80% дитячих іграшок імпортується до нас з інших країн, переважно з Китаю, а матеріали, з яких вони виробляються, на жаль можуть містити підвищені концентрації небезпечних хімічних речовин. Тому іграшки повинні бути не тільки ідеологічно витриманими, педагогічно доцільними, художньо досконалими, відповідати фізичним та розумовим можливостям дітей, відповідати віку, статі, темпераменту дитини, а перш за все бути безпечними і гігієнічними [4].

Тому на даний час актуальними є питання щодо контролю за якістю та безпечністю дитячих іграшок зокрема шляхом застосування технічного регулювання, а саме здійснення оцінювання відповідності технічним регламентам. Таким чином доцільним є детальніше ознайомитись з особливостями процедури та етапами здійснення оцінювання відповідності м'яконабивних іграшок.

Результати та їх обговорення

З 2011 р. набрав чинності наказ № 425 Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики, яким дитячі іграшки були виключені з Переліку продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні. Скасування обов'язкової сертифікації іграшок відбулося у зв'язку із введенням в дію 26 квітня 2010 р. Технічного регламенту безпеки іграшок. Цей Технічний Регламент містить вимоги до фізичних, механічних, електричних, хімічних та санітарно-гігієнічних властивостей іграшок, а також обмеження за вмістом радіоактивних та легкозаймистих елементів та речовин [4].

Крім норм безпеки, яким повинні відповідати іграшки, розповсюджені на території України, даний документ визначає процедуру оцінки їх відповідності цим нормам, правила маркування та введення іграшок в обіг. Технічний Регламент безпеки іграшок розроблено відповідно до Директиви Ради Європейських Співтовариств від 03.05.1998 року щодо зближення законів держав-членів стосовно безпеки іграшок (88/378/ЄЕС).

Оцінку відповідності іграшки вимогам Технічного регламенту проводиться за вибором виробника або уповноваженого представника органу з оцінки відповідності. Зразок кінцевої продукції повинен бути досліджений і випробуваний на відповідність вимогам національних стандартів. Базою для виконання вимог

цього регламенту є перелік національних стандартів (табл. 1), які у разі добровільного застосування є доказом відповідності продукції вимогам Технічного регламенту з підтвердження відповідності безпеки іграшок [3].

Таблиця 1

Перелік національних стандартів

Позначення національних стандартів	Позначення європейських стандартів	Ступінь відповідності згідно з ДСТУ 1.7:2001	Назва стандарту
ДСТУ EN 71-1:2006	EN 71-1:1998	IDT	Безпечність іграшок. Частина 1. Механічні та фізичні властивості
ДСТУ EN 71-2:2005	EN 71-2:2003	IDT	Безпечність іграшок. Частина 2. Займистість
ДСТУ EN 71-3:2005	EN 71-3:1994	IDT	Безпечність іграшок. Частина 3. Міграція певних елементів
ДСТУ EN 71-4:2005	EN 71-4:1990	IDT	Безпечність іграшок. Частина 4. Набори для хімічних дослідів і подібних занять
ДСТУ EN 71-5:2005	EN 71-5:1993	IDT	Безпечність іграшок. Частина 5. Іграшкові набори, крім наборів для хімічних дослідів
ДСТУ EN 71-6:2005	EN 71-6:1994	IDT	Безпечність іграшок. Частина 6. Графічний попереджувальний символ позначення віку
ДСТУ EN 71-7:2008	EN 71-6:2002	IDT	Безпечність іграшок. Частина 7. Фарби для малювання пальцями. Вимоги та методи випробувань
ДСТУ EN 71-8:2006	EN 71-8:2003	IDT	Безпечність іграшок. Частина 8. Гойдалки, похилі жолоби та аналогічні іграшки побутового призначення для активних занять у закритих приміщеннях і на відкритому приміщенні

Під час прийняття рішення стосовно того, чи можна віднести продукцію до категорії “іграшка”, і чи підпадає вона під дію Регламенту, необхідно використовувати кілька ознак. Найважливіша ознака – можливість безпечної гри дитини іграшкою. При прийнятті рішення щодо того, належить продукція до іграшок чи ні, визначальними чинниками є:

- ігрова цінність як первинна функція призначення;
- маркування повинно визначати, для кого призначена продукція: або вікова адреса дитини, або позначення, наприклад, “Не є іграшкою!” чи “Для дорослих колекціонерів”.

Відомо, що введення іграшок у обіг дозволяється тільки якщо вони відповідають вимогам безпеки для життя та здоров’я споживачів у разі використання за призначенням за умови передбачуваної поведінки дітей.

Вимоги щодо безпечності іграшок у національних стандартах враховують розумовий та фізичний розвиток дітей, а також ступень ризику, якому вони піддаються. Вимогами стандартів до особливої групи ризику віднесена вікова група дітей від 0 до 36 місяців. Під час проведення робіт з оцінки відповідності іграшок для цієї групи дітей необхідно звернути увагу на важливі моменти [1,2].

Немовлята не можуть захистити себе від предметів, що потрапляють їм до рота чи розміщені навколо голови або шиї. Для того, щоб уникнути ризику удушення, іграшки для дітей цієї вікової групи повинні мати таку форму, щоб неможливо було охопити шию або голову, чіплятись за шию чи потрапляти до горла. Також ці іграшки не повинні надягатися через голову:

- малята стукають, вдаряють іграшками, а також кидають їх, бо це нормальний розвиток цього віку. Для того, щоб уникнути порізів, а також ризику удушення, іграшки повинні бути настільки міцними, щоб витримати таке поводження і не розвалитися на частини;
- маленькі діти смочуть, кусають та втягують до рота всі види іграшок. Для уникнення ризику асфіксії, іграшки повинні мати таку конструкцію, щоб діти не могли відірвати від них частину чи шматок;
- діти досліджують, збирають чи тягнуть до себе іграшки. Для уникнення ризику удушення, порізів та защемлення іграшки повинні бути сконструйовані так, щоб не відділялися дрібні частини, не було гострих кромek та кінців або розриву швів іграшки;
- діти використовують іграшки для того, щоб набути нових навичок, наприклад їздити на велосипеді чи вибиратися кудись. Щоб уникнути ризику падіння, іграшки повинні бути сконструйовані так,

щоб вони непередбачено не переверталися чи не обрушувалися.

Відповідальність за відповідність кожної уведеної в обіг іграшки вимогам Технічному регламенту згідно із законодавством несуть виробник або уповноважена ним особа або, якщо виробник або уповноважена ним особа не проводять діяльність на території України, особа, яка ввела іграшку в обіг.

Відповідність іграшки підтверджується нанесенням на кожну іграшку, та її пакування, на інструкцію з експлуатації або на інший супроводжувальний документ національного знака відповідності та ідентифікаційного номеру ООВ згідно з державним реєстром таких органів [5].

Нанесення національного знака відповідності, після виконання процедур підтвердження відповідності, є обов'язком виробника або уповноваженої ним особи, чи особи, яка вводить іграшку в обіг. Введення в обіг іграшок без нанесеного національного знака відповідності заборонено.

Для іграшок, які в межах одного типу можуть постачатися в різних моделях, проведення оцінки відповідності повинне підтвердити відповідність вимогам Технічного регламенту для всього модельного ряду. В кожному конкретному випадку, ООВ може прийняти рішення щодо достатності проведення оцінки окремої моделі (або декількох моделей), які в найбільш повній мірі відображають властивості та особливості даного типу іграшки.

Цей підхід можна застосовувати до іграшок, які виготовляються в різних модифікаціях (артикулах), що мають подібні характеристики, або до іграшок, що можуть бути розміщені на ринку в різних конфігураціях з різними характеристиками, які, однак, не впливають на параметри, що перевіряються під час проведення оцінювання відповідності продукції вимогам Регламенту.

Процедура оцінки відповідності в даному випадку полягає у наступному:

- представники ООВ вибирають модель іграшки, яка найбільш повною мірою відображає особливості та властивості конкретного модельного ряду іграшок;
- ООВ проводить оцінку відповідності для обраної моделі, причому вона повинна охоплювати всі вимоги Регламенту;
- у документах ООВ щодо реєстрації декларації про відповідність обґрунтовується вибір моделі, з тих які були використані під час проведення процедур оцінювання відповідності.

Оцінка відповідності іграшок вимогам Регламенту здійснюється із застосуванням процедур оцінки відповідності згідно з Технічним регламентом модулів оцінки відповідності та вимог щодо маркування національним знаком відповідності, які застосовуються в технічних регламентах, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2003 р. № 1585.

У разі, коли процес виробництва іграшок відповідає вимогам національних стандартів, введення іграшок у обіг здійснює виробник, або уповноважена ним особа, оцінювання відповідності здійснюється з використанням модуля Аа (модифікований модуль А (внутрішній контроль виробництва) - А1 (внутрішній контроль виробництва і контрольовані випробування продукції), А2 (внутрішній контроль виробництва і контрольовані випробування продукції через довільні інтервали часу)). Послідовність робіт та дії під час проведення робіт з оцінки відповідності іграшок м'яконабивних за модулями А, А1, А2 наведені у таблиці 2 [6].

За цією схемою виробник або уповноважена ним особа повинен документально підтвердити, що виробничий процес та його контроль гарантують відповідність виробленої продукції встановленим до неї вимогам.

За бажанням заявника оцінювання відповідності може здійснюватися із використанням інших модулів, передбачених Технічним регламентом модулів оцінки відповідності, окрім модуля А.

За умов використання модуля А (А1, А2) виробник або уповноважена ним особа, після позитивних результатів контролю іграшок, що виготовлені, повинен нанести національний знак відповідності на кожній іграшці або її пакуванні згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 29 листопада 2001 р. № 1599 "Про затвердження опису та правил застосування національного знака відповідності", скласти декларацію про відповідність, а також підготувати технічну документацію, яка засвідчує відповідність іграшок вимогам Регламенту та проведення їх оцінювання перед введенням в обіг. Призначенням декларації є гарантування відповідності ідентифікованої іграшки кожного найменування встановленим вимогам, на які є посилання у декларації, а також чітке зазначення відповідальних за цю відповідність і декларацію.

Якщо декларація про відповідність надається на партію іграшок одного найменування, вона повинна поширюватись на кожну одиницю іграшки цієї партії. Якщо декларація про відповідність надається на іграшки одного найменування, які виробляють серійно протягом певного часу, вона повинна поширюватись на кожну одиницю іграшки, що призначені для постачання.

Форма і склад декларації відповідності оформляється у відповідності та по формі наведеній у Додатку 5 Технічного регламенту.

5 Технічна документація яка подається заявником повинна бути складена державною мовою на кожне найменування іграшки та містити:

- проект декларації;
- зразки маркування продукції;
- інші документи, що стосуються продукції, і видані центральними органами виконавчої влади згідно з їх повноваженнями (наприклад, висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи);
- найменування та місцезнаходження виробника;
- вичерпні дані стосовно процесу виробництва іграшки;

- підтвердження відповідності процесу виробництва вимогам національних стандартів (обстеження виробництва, атестація, сертифікована система управління якістю тощо);
- детальний опис дизайну (фото), достатній для її однозначної ідентифікації;
- затверджений згідно чинного законодавства зразок-еталон іграшки (для вітчизняного виробника);
- інформацію про основні конструктивні особливості та комплектність;
- інструкцію з експлуатації (при наявності);
- технічну картку на іграшку стосовно інформації про використані хімічні речовини;
- протоколи випробувань;
- підтвердження відповідності результатів таких випробувань вимогам національних стандартів.

Таблиця 2

**Послідовність робіт та дії під час проведення робіт з оцінки
відповідності іграшок м'яконабивних за модулями А, А1, А2**

1. Назва та призначення модулів		
Модуль А (внутрішній контроль виробництва ПР)	Модуль А1 (внутрішній контроль виробництва і контрольовані випробування ПР)	Модуль А2 (внутрішній контроль виробництва і контрольовані випробування ПР через довільні інтервали часу)
2. Процес виконання		
В виконує зобов'язання стосовно ТД, виробництва ПР та контролю за ними для забезпечення відповідності ПР ТР, маркування та складання ДВ	Модуль А у сукупності з вимогою щодо проведення одного чи кількох випробувань однієї чи кількох характерних властивостей кожного зразка ПР з метою перевірки його відповідності вимогам ТР	Модуль А у сукупності з контролюванням і випробуванням ПР через довільні інтервали часу
3. Перелік документів В та вимоги до них		
ТД у складі: - загальний опис ПР за функціональним призначенням та застосуванням; - технічний проект з виробничими кресленнями, схемами елементів, складальних одиниць, принциповими електричними схемами; - описи та пояснення щодо креслень і схем; - перелік національних стандартів із зазначенням їх частин, які, в разі добровільного застосування, є доказом відповідності ПР вимогам ТР; - результати проектних розрахунків, випробувань; - протоколи випробувань.		
4. Залучення третьої сторони (ООВ)		
Не залучається		Може бути залучена до випробувань
5. Заключні документи та їх розробник		
В складає ДВ		
6. Порядок та відповідальні за маркування НЗВ		
УПВ наносить маркування НЗВ на кожний окремий зразок ПР		Так само як в модулі А з додатковим нанесенням ІН ООВ за його дозволом на кожний зразок ПР
7. Термін зберігання документів		
ДВ разом з ТД зберігається протягом 10 років після виготовлення останнього зразка ПР		

НД – нормативний документ; В – виробник; ВЛ - випробувальна лабораторія; ДВ – декларація про відповідність; ІН - ідентифікаційний номер; НД - нормативний документ; НЗВ - Національний знак відповідності; ОА - Орган акредитації; ОВ - обстеження виробництва; ООВ - орган з Оцінки відповідності; ПР – продукція; СУЯ - система управління якістю; ТД - технічна документація; ТЗ - технічне завдання; ТН - технічний нагляд; ТР - технічний регламент; ТУ - технічні умови; УПВ - уповноважений представник виробника

Технічну документацію разом з декларацією відповідності виробник або уповноважена ним особа повинні зберігати протягом трьох років з дати виготовлення останнього зразка іграшки, і надавати для перевірки у встановлених законодавством випадках.

Виробник або уповноважена ним особа несуть повну відповідальність за надану інформацію для декларування. Виробник повинен вжити заходи для того, щоб виробничий процес забезпечував відповідність виготовлених іграшок технічній документації і вимогам Регламенту.

У разі, коли виробник не застосував національні стандарти для виробництва іграшок оцінювання відповідності здійснюється з використанням модуля В (перевірка типу) в комбінації з модулем С (відповідність типові за результатами внутрішнього контролю виробництва), модулем С1 (відповідність типові за результатами внутрішнього контролю виробництва та випробування продукції) або модулем С2 (відповідність типові за результатами внутрішнього контролю виробництва та перевірки продукції через довільні інтервали часу) згідно з Технічним регламентом модулів оцінки відповідності та вимог щодо

маркування національним знаком відповідності, які застосовуються у технічних регламентах, затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2003р. № 1585. За бажанням заявника оцінювання відповідності може здійснюватися із використанням інших модулів, передбачених Технічним регламентом модулів оцінки відповідності, окрім модулів А, А1, А2 [6].

Послідовність робіт та дії під час проведення робіт з оцінки відповідності іграшок м'яконабивних за модулями В, С, С1, С2 наведені у таблицях 3 та 4.

Таблиця 3

**Послідовність робіт та дії під час проведення робіт з оцінки
відповідності іграшок м'яконабивних за модулями В**

1. Назва та призначення модулів
Модуль В (перевірка типу)
2 Процес виконання
1. Випробування зразка ПР 2. Оцінка відповідності технічного проекту ПР шляхом експертизи ТД і підтверджуючих документів та випробування однієї або кількох критичних частин зразка ПР 3. Оцінка відповідності технічного проекту ПР шляхом експертизи ТД та інших документів без випробування зразка ПР
3 Перелік документів виробника та вимоги до них
- Заявка на перевірку типу ПР; - ТД (тільки для пунктів 2 та 3 комірки 1); - Зразки ПР у кількості, що необхідна для проведення випробувань. ООВ може використовувати додаткові зразки продукції; - Документи, що підтверджують відповідність рішень технічного проекту (тільки для пунктів 2 та 3 комірки 1) вимогам ТР, якщо стандарти з переліку національних не застосовувались; - ТД повинна охоплювати всі стадії проектування, виробництва та застосування ПР, містити інформацію для встановлення його відповідності вимогам ТР а також: - загальний опис ПР; - технічний проект, виробничі креслення, схеми елементів, складальних одиниць, принципів електричних схем; - описи та пояснення щодо креслень і схем та такі, що стосуються застосування ПР; - перелік національних стандартів із зазначенням їх частин, які, в разі їх застосування, є доказом відповідності ПР вимогам ТР; - результати проектних розрахунків, випробувань; - протоколи випробувань.
4. Залучення третьої сторони (ООВ)
Залучається ООВ стосовно ПР для: - проведення експертизи ТД; - перевірки типового зразка ПР або кількох зразків з метою підтвердження факту їх виготовлення згідно з технічним проектом; - визначення елементів зразка ПР, спроектованих відповідно до вимог стандартів з переліку національних стандартів та без дотримання їх вимог; - проведення перевірки та випробувань, необхідних для оцінки правильності застосування стандартів з переліку національних; - проведення перевірки та випробувань для підтвердження відповідності прийнятих В рішень вимогам ТР, якщо стандарти з переліку національних стандартів не застосовувались; - узгодження із заявником місця проведення перевірки та випробувань; - оформлення звіту про проведення перевірки та отримані результати. Оприлюднення відомостей, що містяться у зазначеному звіті, забороняється, за винятком подання на запит органу, що його призначив.
5. Заключні документи та їх розробник
ООВ видає В сертифікат перевірки типу, у якому зазначаються: - найменування і адреса В; - результати проведених перевірок; - умови дії сертифіката (у разі необхідності); - дані, необхідні для ідентифікації перевіреного типового зразка ПР. Будь-які зміни перевіреного типового зразка ПР, які підлягають додатковій перевірці, оформлюються у вигляді додаткового схвалення у формі додатка до оригіналу сертифіката перевірки типу.
6. Порядок та відповідальні за маркування НЗВ
Не зазначено. Див. інші модулі, які застосовуються сукупно з модулем В
7. Термін зберігання документів
ООВ зберігає до закінчення терміну дії сертифіката перевірки типу його копію разом з додатками та комплект документів, включаючи подані В. УПВ зберігає разом з ТД копію сертифіката перевірки типу та додатки до нього протягом 10 років після виготовлення останнього зразка ПР.

**Послідовність робіт та дії під час проведення робіт з оцінки
відповідності іграшок м'яконабивних за модулями С, С1, С2**

1. Назва та призначення модулів		
Модуль С (відповідність типові за результатами внутрішнього контролю виробництва)	Модуль С1 (Так само як в модулі С сукупно з вимогою щодо проведення одного чи кількох випробувань однієї чи кількох характерних властивостей кожного зразка ПР)	Модуль С2 (Так само як в модулі С сукупно з вимогою щодо проведення перевірки ПР під наглядом через довільні інтервали часу)
2. Процес виконання		
Виробник на підставі способів модуля В гарантує, що ПР відповідає його типовому зразку, зазначеному в сертифікаті перевірки типу, та вимогам ТР, який до нього застосовується	Так само, як в модулі С сукупно з випробуванням	Так само, як в модулі С сукупно з контролем ПР через довільні інтервали часу
3. Перелік документів В та вимоги до них		
Такі ж, що в модулі В		
4 Залучення третьої сторони (ООВ)		
Залучається до дій, пов'язаних з виконанням модуля В	Так само, як в модулі С сукупно з проведенням випробувань акредитованою ВЛ самого В або ООВ	
5. Заключні документи та їх розробник		
Такий же сертифікат ООВ як в модулі В. В або його УПВ складає ДВ з огляду на необхідність ідентифікації зразка ПР	Так само, як в модулі С	Так само, як в модулі С
6. Порядок та відповідальні за маркування НЗВ		
В або його УПВ наносить маркування НЗВ на кожний окремий зразок ПР, який відповідає типовому зразку ПР, зазначеному в сертифікаті перевірки типу, та задовольняє вимогам ТР		
7. Термін зберігання документів		
Так само, як в модулі В		

До заявки повинен додаватися зразок іграшки. У разі потреби для проведення перевірки уповноважений орган може вимагати надання додаткових зразків.

Технічна документація, що надається разом з заявкою, повинна містити:

- проект декларації;
- зразки маркування продукції;
- інші документи, що стосуються продукції, і видані центральними органами виконавчої влади згідно з їх повноваженнями (наприклад, висновок державної санітарно – епідеміологічної експертизи);
- детальний опис дизайну (фото), достатній для її однозначної ідентифікації;
- затверджений згідно чинного законодавства зразок-еталон іграшки (для вітчизняного виробника);
- інформацію про основні конструктивні особливості та комплектність;
- інструкцію з експлуатації (при наявності);
- технічну картку на іграшку стосовно інформації про використані хімічні речовини;
- перелік повністю або частково застосованих національних стандартів для виготовлення іграшки;
- інші документи, що можуть бути взяті до уваги.

ООВ проводить експертизу технічної документації з метою підтвердження, що зразок іграшки виготовлено згідно з наданою технічною документацією, а також проводить випробування для підтвердження відповідності продукції вимогам Регламенту. Кожний зразок кінцевої продукції повинен бути досліджений і випробуваний на відповідність вимогам національних стандартів [7].

Випробування продукції проводяться акредитованими випробувальними лабораторіями (центрами), у визнаній галузі яких передбачена можливість проведення випробувань за стандартами серії EN-71, ДСТУ EN 50088-2003 в повному обсязі.

У разі відповідності зразка основним вимогам Регламенту ООВ оформлює сертифікат перевірки типу і повідомляє про це заявника. У сертифікаті зазначається назва та адреса виробника, висновки про проведену перевірку, умови дії сертифіката перевірки типу, а також необхідні дані зразка іграшки для ідентифікації перевіреного типу.

До сертифіката повинен додаватися перелік технічної документації. Копія сертифіката зберігається в ООВ.

У разі відмови у видачі сертифіката перевірки типу ООВ викладає у висновку причини відмови і повідомляє про це заявника та центральний орган виконавчої влади, на який покладено виконання функцій технічного регулювання у визначених сферах діяльності.

Заявник повинен інформувати ООВ про всі модифікації перевіреного зразка іграшки, які повинні пройти додаткову перевірку, якщо такі зміни можуть вплинути на відповідність вимогам Регламенту. Дані

додаткової перевірки додаються до оригіналу сертифіката перевірки типу.

Після проведення перевірки виробник або уповноважений представник зберігає технічну документацію разом з копією сертифіката перевірки типу протягом трьох років після виготовлення останньої іграшки і подає їх на вимогу визначеним законодавством органам виконавчої влади.

У разі, коли виробник не є резидентом України та відсутній уповноважений представник, технічна документація та декларація про відповідність іграшок вимогам Регламенту зберігається особою, яка ввела іграшку в обіг.

Після проходження процедур оцінки відповідності виробник або уповноважена ним особа – резидент України, після отримання сертифікату перевірки типу, повинен здійснити маркування іграшок національним знаком відповідності і скласти декларацію про відповідність, в якій гарантує, що іграшки, які вводяться в обіг, відповідають зразку, який одержав сертифікат перевірки типу.

Декларування, облік та надання інформації щодо облікованих декларацій про відповідність здійснюється ООВ згідно з “Тимчасовим порядком обліку декларацій про відповідність та надання інформації щодо облікованих декларацій про відповідність”, затвердженим наказом Держспоживстандарту України від 06.03.2009 р. № 99.

Виробник повинен вжити заходів для забезпечення відповідності виробничого процесу виготовлення іграшок затвердженому зразку та вимогам Регламенту.

Висновки

Отже, впровадження технічного регламенту безпеки іграшок, який був прийнятий країнами ЄС, переводить перевірку показників якості та безпеки з площини держави у площину відповідності виробника та постачальника продукції. Це стало можливим завдяки врахуванню у стандартах усіх показників, які можуть впливати на безпеку іграшок та подальшого використання їх дітьми.

Таким чином виробники перед введенням іграшок в обіг зобов'язані забезпечити їх відповідність вимогам безпеки, встановленим у Технічному регламенті. Крім того, виробники також зобов'язані зберігати технічну документацію та декларацію про відповідність впродовж 10 років після введення іграшки в обіг.

Декларація про відповідність повинна містити інформацію, що підтверджує виконання вимог безпеки, встановлених у Технічному регламенті. При цьому складання виробником декларації про відповідність є підтвердженням його відповідальності за відповідність іграшки вимогам безпеки.

Література

1. Постанова КМУ Про затвердження Технічного регламенту безпечності іграшок № 515 від 11.07 2013 р;
2. Постанова КМУ План заходів із застосування технічного регламенту безпечності іграшок № 515 від 11.07 2013 р;
3. Наказ Мінекономрозвитку України Про затвердження переліку національних стандартів, добровільне застосування яких може сприйматися як доказ відповідності іграшок вимогам Технічного регламенту безпечності іграшок № 1336 від 11.11.2013 р.;
4. Царьова Н.С., Задорожний А.В. Стан безпеки дитячих іграшок в Україні / Н.С. Царьова, А.В. Задорожний // Одеська державна академія технічного регулювання та якості. Збірник наукових праць . – 2012. – № 1. – С. 30;
5. Віктор Архипов Проблеми експертизи якості та безпечності дитячих іграшок при проведенні судово-товарознавчих експертиз [Електронний ресурс] / В. Архипов. – Режим доступу: http://n-auditor.com.ua/uk/component/na_archive/841?view=material;
6. Модулі оцінки відповідності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sert-zetc.lviv.ua/index.php/uk/otsinka-vidpovidnosti/moduli-otsinky-vidpovidnosti>;
7. Трусов О., Казанцева Н. Безпека іграшки – безпека дітей / О. Трусов, Н. Казанцева // Журнал «Стандартизація, сертифікація, якість». – 2013. – №3. – С. 36-39.

Literature

1. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine *Approval of Technical Regulations of Toys Safety* number 515 of 11.07 2013;
2. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine *Action Plan of the Application of Technical Standards List of Toys Safety* number 515 of 11.07 2013;
3. Law of the Ministry of Economic Development of Ukraine *The Approval of the National Standards list, the voluntary use of which may be perceived as evidence of toys conformity to the requirements of the Technical Regulations of toys safety* number 1336 of 11/11/2013 p.;
4. Tsariova N.S., Zadorozhnyi A.V. The safety situation with toys in Ukraine / N.S. Tsariova, A.V. Zadorozhnyi // Odesa State Academy of Technical Regulations and Quality – Collection of Scientific Papers number 1.: 2012 – P. 30;
5. Viktor Arkhipov. Issues of quality examination and safety of toys during forensic and commodity examinations [electronic resource] / Access: http://n-auditor.com.ua/uk/component/na_archive/841?view=material;
6. Modules for conformity assessment [electronic resource] / Access: <http://sert-zetc.lviv.ua/index.php/uk/otsinka-vidpovidnosti/moduli-otsinky-vidpovidnosti>;
7. Trusov O., Kazantseva N. Toys safety – children safety / O. Trusov, N. Kazantseva // Journal "Standardization, certification, quality." 2013. – №3. – P. 36-39.

Рецензія/Peer review : 9.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СДВИГА НА ВЯЗКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

В статье представлены исследования по определению влияния скорости сдвига на реологические свойства полимерных композиций в лабораторных и производственных условиях. Предложены графики зависимости вязкости полимерных композиций от скорости сдвига. На основе лабораторных и производственных экспериментальных данных построена сводная таблица влияния вязкости и скорости сдвига полимерных композиций на толщину сформированного полимерного покрытия.

Ключевые слова: полимерная композиция, текстильные материалы с покрытием, вязкость, скорость сдвига.

M.V. PASICHNYK

Nykolaev National University after V.A. Sukhomlinsky

INFLUENCE OF THE SHEAR RATE ON THE VISCOSITY OF POLYMER COMPOSITION DURING THE COATING OF TEXTILE MATERIAL

Abstract – The aim of the article is to provide the reader with some material on study the rheological behavior of the polymer compositions for coating of textile. The first experiment of the article gives a detailed analysis of the behavior of four developed polymer compositions. It was determined that character of the flow is pseudoplastic which decreases viscosity with increase in shear rate, due to weak interactions between substance particles which are broken by shear force.

Fabric was coated by knife coating method. The method proposed if the viscosity decreases with time at increase of shear rate. The viscosity of the polymer compositions with the magnitude of the applied shear rate was measured. Attention is drawn to the natural consequence of the fact that the molecules are caused to rotate by the shearing action. It was pointed out that the variation of the viscosity of polymer compositions with the rate of shear may provide a convenient method for determining coating thickness.

Keywords: polymer composition, coated textile materials, viscosity, shear rate.

Введение. Одним из новых и перспективных направлений мировой текстильной промышленности является выпуск тканей с полимерным покрытием. Такие ткани используются в различных сферах: в производстве мебели; современных упаковочных материалов; изготовлении палаток, навесов, спортивного снаряжения; в декоративных целях. Исходя из назначения и условий эксплуатации им придают специфические свойства: износостойкость, газопроницаемость, гидрофобность, стойкость к деформациям и др.

Постановка проблемы. При разработке полимерных композиций, формирующих полимерные покрытия на поверхности текстильных материалов, важным является изучение их технологических свойств. В процессе нанесения полимерного покрытия скорость работы машины изменяется в широких пределах и полимерная композиция претерпевает ряд изменений. Для прогнозирования поведения отделочных композиций в производственных условиях изучают реологические свойства полимерных композиций.

Анализ последних исследований и публикаций. Практически все полимерные композиции проявляют эффект разжижения (снижения вязкости) при увеличении скорости сдвига. Изогнутые полимерные цепи деформируются и под действием приложенных напряжений ориентируются, оказывая тем самым наименьшее сопротивление. При достаточно высокой концентрации полимера в композиции, макромолекулы могут проникать друг в друга, образуя рыхлую гелеобразную структуру. Для того чтобы разрушить эту структуру и осуществить течение, требуется приложение конечной силы, такая система ведет себя как бингамовское вязко-пластичное тело. Однако, для того чтобы иметь хорошие потребительские характеристики, полимерные композиции должны быть неньютоновскими жидкостями, вязкость которых сильно зависит от скорости сдвига.

Критический анализ применения полимеров при формировании полимерных покрытий показал преимущества использования водных дисперсий [1]. При малых скоростях сдвига структура водных дисперсий полимеров разрушается и полностью восстанавливается (в таком случае система имеет наибольшую вязкость), с увеличением скорости сдвига разрушение структуры начинает преобладать над восстановлением, и вязкость уменьшается. Применение полимеров в виде дисперсий позволяет наносить тонкие покрытия на большую поверхность с минимальными энергозатратами, а также обеспечивает частичную пропитку и лучшее сцепление покрытия с материалом основы [2]. Дополнительным преимуществом использования композиций на основе водных дисперсий полимеров является исключение подготовительных работ, связанных с превращением полимера в порошок или его гранулированием, и исключение необходимости применения растворителей.

В качестве полимера-матрицы в исследовании использовалась стирол-акриловая дисперсия Лакритекс 430. В работе [3] было установлено, что большое количество метакриловой кислоты в составе полимера, непосредственно влияет на его реологические свойства. В результате отрицательной заряженности ионов $-\text{COOH}$, которые отталкиваются друг от друга, происходит разворачивание

молекулярных клубков макромолекулы и возрастает межмолекулярное взаимодействие, что сопровождается повышением вязкости. Таким образом, гидрофобные сегменты макромолекулы обеспечивают ассоциативное взаимодействие друг с другом, что придает высокую стабильность вязкости системы и отличные реологические свойства [4].

В качестве исследуемых полимеров были выбраны водные дисперсии акриловых сополимеров (Лакритекс 273, Лакритекс 430) и уретанов (Аквапол 11). Наиболее эффективным сшивающим агентом из исследуемых был выбран бесформальдегидный сшивающий агент эпоксидной природы – триглицидиловый эфир полиоксипропилентриола (ТГЭ), в качестве мягчителя использовался силиконовый мягчитель. Состав разработанных полимерных композиций представлен в таблице 1.

Таблица 1

Состав разработанных полимерных композиций

Полимерная композиция (ПК) № 1	Полимерная композиция (ПК) № 2	Полимерная композиция (ПК) № 3	Полимерная композиция (ПК) № 4
Лакритекс 430	Лакритекс 430	Лакритекс 430	Лакритекс 430
Лакритекс 273	Аквапол 11	Лакритекс 273	Аквапол 11
ТГЭ	ТГЭ	ТГЭ	ТГЭ
-----	-----	Мягчитель	Мягчитель

В результате предыдущих исследований [5] было установлено, что все полимерные композиции характеризуются тиксотропными свойствами, что предопределяет их использование в техническом процессе. Самой высокой степенью тиксотропного восстановления – 100% характеризуется полимерная композиция №2, а самая низкая степень тиксотропного восстановления у полимерной композиции №4.

Целью данной работы было изучение реологических характеристик течения полимерных композиций в координатах вязкость – скорость сдвига и подсчет толщины сформированного полимерного покрытия на поверхности текстильного материала с учетом технологических скоростей сдвига.

Изложение основного материала. Реологические характеристики определялись методами инженерной механики с использованием ротационного вискозиметра с коаксиальными цилиндрами «Реотест-2». Показания регистрировали при увеличении и последующем уменьшении градиента скорости сдвига в зависимости от используемого рабочего цилиндра.

Следует учитывать, что при построении кривых течения в логарифмических координатах сглаживаются различия между отдельными полимерами. Более удобно использовать кривые течения, построенные в координатах вязкость — скорость сдвига.

Известно, что при повышении температуры уменьшается вязкость полимеров. У различных полимеров степень изменения вязкости отличается, и повышение температуры вызывает сравнительно небольшое снижение вязкости. Виноградовым Г.В. с сотрудниками найдена функция течения полимеров, не зависящая по отношению к температуре. Эта функция названа температурно-инвариантной характеристикой вязкости и имеет следующий вид:

$$\eta/\eta_n = f(\gamma\eta_n), \quad (1)$$

где η_n – наибольшая вязкость

Величина $\eta/\eta_n = \eta_{пр}$, являющаяся отношением вязкости (при данном напряжении и скорости сдвига) к ньютоновской вязкости, называется приведенной вязкостью. Приведенная вязкость показывает степень влияния изменения структуры полимера при течении на вязкость.

Величина $\gamma\eta_n = \gamma_{пр}$ называется приведенной скоростью сдвига и характеризует интенсивность деформационного воздействия при установившемся течении полимерной композиции.

Метод универсальной температурно-инвариантной характеристики вязкости полимеров позволяет единообразно оценивать их состояние при установившихся режимах течения. По обобщенной характеристике вязкости можно находить приближенное значение эффективной вязкости в широком диапазоне изменения температуры и напряжений сдвига [6].

На рисунках 1 и 2 представлена зависимость приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига. На кривых течения (ПК №1 и ПК №4) наблюдается рост величины начальной вязкости, а потом кривые выходят на ньютоновскую прямую [7]. Это объясняется процессом формирования флуктуационной сетки ссеплений, которая отображает динамические свойства композиций: сначала вязкость возрастает, в связи с молекулярными ссеплениями, а потом выходит на режим установленного течения [8].

На рисунке 1. кривые ПК №2 и ПК №3 характеризуются значительными пиками вязкости при скорости сдвига 27 с^{-1} . С повышением скорости сдвига вследствие торможения релаксационных процессов наблюдается резкое нарастание внутренних напряжений, через определенный период времени наблюдается не только нарастание вязкости, но и изменение характера реологических кривых, связанное с переходом системы в структурированное состояние за счет возникновения связей между структурными элементами. Применение полимерных композиций №2 и №3 не сможет обеспечить оптимальную работу технологической линии, так как для оборудования важно, чтобы вязкость композиции при повышении напряжения была минимальной.

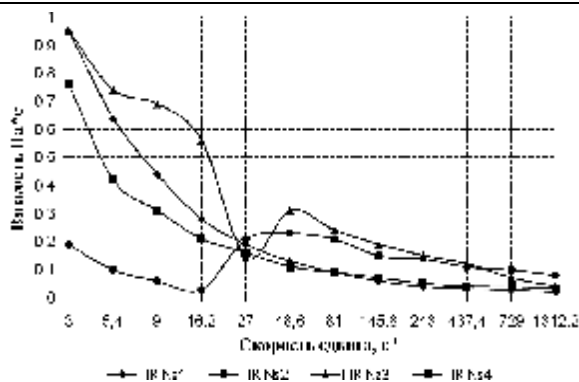


Рис. 1. Кривые зависимости приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига (прямой ход)

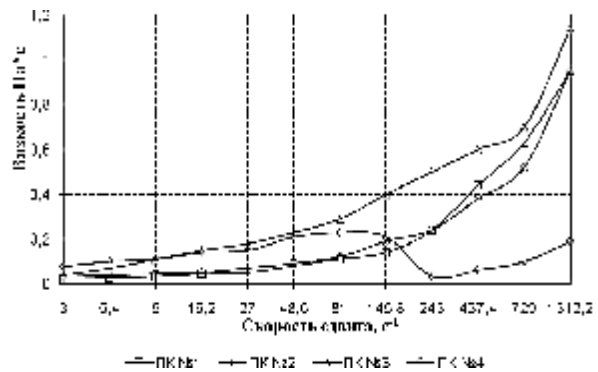


Рис. 2. Кривые зависимости приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига (обратный ход)

Вязкость полимерных композиций №1 и №4 уменьшается с увеличением напряжения. Кривые прямого и обратного хода для данных полимерных композиций практически идентичны вследствие процесса обратимого изотермического разрушения и восстановления связей между частичками, что дает предпосылки к использованию ПК №1 и ПК №4 в технологическом режиме (рис. 2).

При работе технологической линии полимерная композиция подвергается воздействию как очень высоких, так и очень низких скоростей сдвига. При оценке скоростей сдвига почти всегда разные стадии одного и того же технологического процесса характеризуются совершенно разными скоростями сдвига. Таким образом, оценка технологичности полимерных композиций, выводимая по результатам обычных измерений вязкости при низких скоростях сдвига, может оказаться ошибочной. Для правильной оценки поведения полимерных композиций при высоких скоростях сдвига проводились дополнительные производственные испытания ПК №1 и ПК №4.

В технологических условиях процесс нанесения покрытий состоит из собственно нанесения покрытия, образования пленки (образования геля полимера и удаления растворителя) и связанных с этим процессов нагрева, сушки и охлаждения.

Наиболее экономически выгодным и простым в аппаратном оформлении является способ непосредственного нанесения полимерной композиции с помощью ножевой ракля на текстильный материал с последующим формованием полимерной пленки в процессе сушки [9]. Схема технологической линии по нанесению полимерной композиции на текстильный материал представлена на рисунке 3.

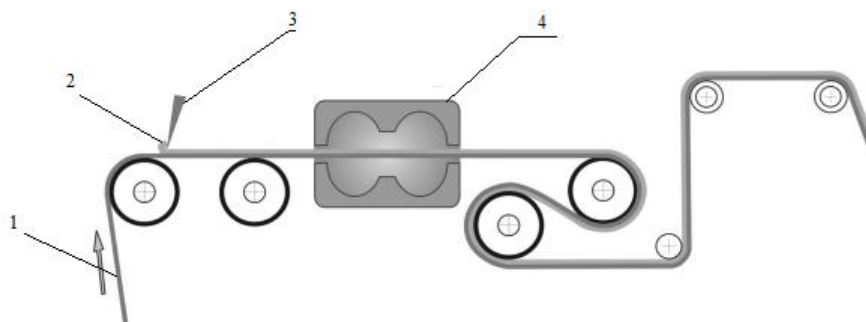


Рис. 3 – Линия по нанесению полимерной композиции на текстильный материал
1 – ткань; 2 – полимерная композиция; 3 – ножевая ракли; 4 – термокамера

Полимерная масса из емкостей, расположенных над лентой, вручную или с помощью насосов подается на ленту непосредственно перед раклей. При нанесении покрытия полимерная масса перед раклей совершает циркуляционное движение, следовательно, можно утверждать, что чем ниже вязкость, тем меньшее количество пленкообразующей композиции наносится на текстильный материал. Для некоторых композиций при ракельном методе нанесения обнаруживается возрастание вязкости, что следует учитывать и следить, чтобы скорость нанесения не была слишком высокой для обеспечения равномерной толщины покрытия. Существенна также и длительность приложения нагрузки.

Большое влияние на процесс нанесения покрытия оказывает скорость сдвига в зазоре между раклей и лентой. Для определения скорости сдвига полимерной композиции при работе технологической линии использовалась соответствующая формула [10]:

$$g = \frac{n}{y}, \quad (2)$$

где γ – скорость сдвига; v – максимальная скорость; y – размер зазора.

Для оценки влияния скорости сдвига в технологических условиях на вязкость разработанных полимерных композиций и подсчет прогнозируемой при этом толщины полимерного покрытия, была

построена сводная таблица, которая включала в себя все основные скорости сдвига характерные для технологического процесса (табл. 2).

Таблица 2

Параметры работы линии по нанесению полимерной композиции на текстильный материал

Скорость нанесения покрытия, м/мин	Скорость сдвига, с ⁻¹	
1	167	83
5	833	417
10	1666	833
20	3333	1666
Толщина, мм	0,1	0,2

Из таблицы 2 видно, что регулируя скорость сдвига и скорость работы машины можно получить предварительно заданную толщину формируемого покрытия на поверхности текстильного материала.

На рисунке 4 представлена зависимость приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига для полимерных композиций №1 и №4 в условиях работы технологической линии.

Рис. 4. Кривые зависимости приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига для технологического режима

Характер течения полимерных композиций №1 и №4 близок к псевдопластичному, что характерно для полимерных составов, применяемых для нанесения покрытий в технологических условиях. С возрастанием напряжения сдвига (рис. 4) асимметричные частицы постепенно ориентируются вдоль направления потока, при этом вязкость убывает с ростом скорости сдвига до тех пор, пока сохраняется возможность дальнейшей ориентации частиц, а затем кривая становится линейной. Предел текучести для исследуемых полимерных композиций равен нулю, реологические свойства течения не зависят от времени, что означает, что процесс ориентации частиц, проходит почти мгновенно.

Выводы. Проанализировав данные, полученные по реологическим кривым полимерных композиций можно сделать вывод, что построение и изучение реограмм позволяет научно и обоснованно решать вопросы технологии полимерных композиций, начиная с момента их приготовления и до нанесения на поверхность текстильного материала. Исследовав реологические кривые течения полимерных композиций, был подобран наиболее эффективный метод нанесения монолитной пленки, при котором течение будет проходить с минимальной вязкостью, что обеспечит бесперебойную работу оборудования.

В результате проведенных исследований было установлено, что изучение реологических характеристик течения полимерных композиций с учетом технологических скоростей сдвига, позволяет получить контролируемую толщину сформированного полимерного покрытия на поверхности движущегося текстильного материала.

Литература

1. Пасечник М.В. Текстильные материалы с полимерным покрытием: разработка композиционных составов и технологии нанесения / М.В. Пасечник. – Херсон: Айлант, 2013. – 216 с.
2. Басов Н.И. Техника переработки пластмасс / Н.И.Басов, В. Броя. – М.: Химия, 1985. – 528 с.
3. Пасічник М.В. Застосування полімерної композиції для водотривкої обробки текстильних матеріалів / М.В. Пасічник, І.М. Куліш, Г.С. Сарібеков // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 2. – С. 98 – 101.
4. Староверова О.С. Модификация эпоксиэфиром полимерных материалов для лакокрасочных покрытий: автореф. дис. на соискания степени канд. хим. наук: спец.: 02.00.06 – «Высокомолекулярные соединения» / О.С. Староверова. – Ярославль, 2014. – 28 с.
5. Пасічник М.В. Модифікування в'язкості полімерної композиції для нанесення покриття на поверхню текстильного матеріалу/ М.В. Пасічник, І.М. Куліш, Г.С. Сарібеков // Вісник Хмельницького

національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 3. – С. 145 – 149.

6. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьем под давлением / В.В. Лапшин. – М.: «Химия», 1974. – 270 с.

7. Цветков В.Н. Структура макромолекул в растворах / В.Н. Цветков, В.Е. Эскин, С.Я. Френкель. – М.: Наука, 1964. – 720 с.

8. П де Жен. Идеи скейлинга в физике полимеров / П де Жен.; пер. с англ. И.М. Лифшиц. – М.: Мир, 1982. – 368 с

9. Polona Dobnik Dubrovsk. Woven Fabric Engineering / Polona Dobnik Dubrovsk. – Sciyo, 2010. – 436 p.

10. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии / Г. Шрамм; пер. с англ. И.А. Лавыгина. – М.: Колос, 2003. – 312 с.

References

1. Pasichnyk M.V. Tekstil'nyye materialy s polimernym pokrytiyem: razrabotka kompozitsionnykh sostavov i tekhnologii naneseniy: monografiya. Kherson, Aylant, 2013, 216 p.

2. Basov N.I., Broya V. Tekhnika pererabotki plastmass. Moscow, Khimiya, 1985, 528 p.

3. Pas'chnyk M.V., Kul'sh ?.M., Sar'bekov G.S. Zastosuvannya polimernoї kompozytsії dlia vodotryvkoї obrobky tentovykh tekstylnykh materialiv, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical science. Khmelnytsky*. 2009. Volume 128. Issue 2. pp. 98 – 101.

4. Staroverova O.S. Modifikatsiya epoksiefirom polimernykh materialov dlya lakokrasochnykh pokrytiy: avtoref. dis. na soiskaniya stepeni kand. khim. nauk. Yaroslavl', 2014, 28 p.

5. Pas'chnyk M.V., Kul'sh ?.M., Sar'bekov G.S. Modyfikuvannya viazkosti polimernoї kompozytsії dlia nanesennia pokryttia na poverkhniiu tekstylnoho materialu, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical science. Khmelnytsky*. 2010. Volume 155. Issue 3. pp. 145 – 149.

6. Lapshin V.V. Osnovy pererabotki termoplastov lit'yem pod davleniyem. Moscow, Khimiya, 1974, 270 p.

7. Tsvetkov V.N., Eskin V.Ye., Frenkel' S.YA. Struktura makromolekul v rastvorakh. Moscow, Nauka, 1964, 720 p.

8. P de Gennes. Idei skejlinga v fizike polimerov. Moscow, Mir, 1982. 368 p.

9. Polona Dobnik Dubrovsk. Woven Fabric Engineering. Sciyo, 2010. 436 p.

10. Schramm G. Osnovy' prakticheskoy reologii i reometrii. Moscow, ColosS, 2003. 312 p.

Рецензія/Peer review : 20.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Рецензент: д.х.н. проф., Романкевич О.В.

О.В. СКІДАН

Київський національний університет технологій та дизайну

Т.А. НАДОПТА, І.М. ПАСТУХ

Хмельницький національний університет

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОП ДІТЕЙ-ШКОЛЯРІВ

У статті обґрунтовано вибір вікової групи дітей - середній шкільний період із поділом на групи хлопчиків і дівчаток, що дозволить якомога краще враховувати особливості стоп. Наведено результати антропометричних досліджень стоп дітей-школярів, встановлено залежності основних параметрів стопи (довжини, ширини та обхвату) з використанням методики формування поліпараметричних моделей. Описано моделювання абрисів поверхні з використанням аналітичної геометрії, зокрема запропоновано метод профілювання абрисів з застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними. Наведено алгоритм для автоматичного розрахунку координат кривої абрису стопи та показано як приклад побудови абрису сліду для різних довжин стопи, оскільки абрис сліду є складним замкнутим контуром. Перевагами розробленого методу є мобільність керування формою кривих абрисів деталей із зниженням порядку кривої, в тому числі – з кривизною різного напрямку, що необхідно для кривих характерних абрисів колодки та умовної розгортки.

Ключові слова: стопа, абрис стопи, аналітична модель, сплайнові криві, криволінійні напрямні

O.V. SKIDAN

Kyiv National University of Technologies and Design

T.A. NADOPTA, I.M. PASTUH

Khmelnytsky National University

FORMATION OF THE MODEL OF THE SCHOOLCHILDREN FOOT DIMENSIONAL CHARACTERISTICS

Abstract – The article deals with the choice of the age groups of children – middle school period with the division into groups of boys and girls that will help to take into account the features of the foot. The results of anthropometric studies of the schoolchildren foot are offered, the dependencies of the foot basic parameters (length, width and girth) were determined using the method of the forming of polyparametric models. The modeling of the surface outlines was described using analytic geometry, including the method of outlines profiling using spline curves with curved guides. The algorithm of the automatic calculation of the coordinates of the curve and the outline of the foot is offered. An example of building of footprint outline for different lengths of the foot is given. The advantage of the developed method is mobility of the management of curves shape of details outlines including a reduction in the order of the curve and the curvature of different direction, which are necessary for the curves of characteristic pad outlines and conventional sweep.

Keywords: foot, contours of the foot, analytical model, spline curves, curved guides

Постановка проблеми

Аналітичне моделювання процесу проектування дає змогу оптимізувати виконання певних етапів виробництва виробів. Використання аналітичної геометрії в процесі аналітичного моделювання дозволяє автоматизувати різні стадії високоточного виробництва технічних об'єктів [1]. Тому найбільшу перспективу мають інформаційні комплекси, в основі яких лежить автоматизація проектних рішень, за рахунок використання основ вказаного методу проектування. Вирішення теоретичних та прикладних задач аналітичної геометрії спрямовано на отримання оптимальних моделей процесу проектування, забезпечуючи при цьому функціональні, конструктивні, технологічні, економічні, естетичні критерії якості виробу. Системи автоматизованого проектування виробів легкої промисловості розвиваються паралельно, незважаючи на масове використання геометричного проектування. При цьому також в повній мірі не враховуються антропометричні особливості стоп, припуски, художнє рішення моделі, тощо.

При вивченні стану систем автоматизованого проектування взуття, зокрема для дітей-школярів встановлено, що одними з актуальних напрямків є розробка та пошук нових методів аналітичного моделювання процесу проектування, що дозволить, зокрема виконувати конструювання специфічних кривих і ділянок поверхні з одночасним адекватним відображенням їх на площині.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У загальному вигляді рішення завдань аналітичної геометрії складається з таких етапів [2]: аналітичний опис геометричних властивостей об'єкта (форми, розташування в просторі); розробка аналітичної моделі об'єкта та процесу проектування; корегування та редагування отриманого об'єкта шляхом виконання його геометричних перетворень; рішення геометричних завдань на тривимірному об'єкті; перетворення форми та положення об'єкта; одержання плоских відображень об'ємних деталей, відображення геометричних результатів проектування.

Сьогоднішній стан проектування за кордоном характеризується стрімким розвитком комплексів автоматизованого проектування виробів легкої промисловості, які реалізують системний підхід створення виробу на основі аналітичного моделювання об'єкта [3, 4]. Однак використання сучасних інформаційних технологій і спеціалізованих прикладних пакетів є економічно недосяжним для вітчизняних взуттєвих підприємств.

Аналіз сучасних вітчизняних методів з застосуванням аналітичних підходів показав, що

дослідження в цьому напрямку спрямовані в основному на удосконалення існуючих методів проектування [5-6]. Комплексний підхід до розробки та використання аналітичних методів процесі проектування виробів складається із значної кількості задач, однією з яких є теоретично обґрунтоване проектування та конструювання взуття для дітей-школярів.

Як відомо, процеси моделювання та проектування виробів в значній мірі пов'язані із створенням та використанням геометричних моделей або абрисів поверхонь. Найбільшу складність для проектування представляють об'єкти зі складною криволінійною формою поверхні (стопа, взуттєва колодка), які мають також враховувати будову стопи, забезпечувати відповідну якість виробів.

Тому пошук та розробка принципово нових підходів – аналітичної основи проектування взуття для дітей-школярів є актуально. Це дозволить швидше, точніше, економніше виконувати проектування виробів з врахуванням індивідуальних особливостей стоп, що підвищить конкурентоспроможність взуття.

Формулювання мети дослідження

Для розробки аналітичних моделей автоматизованого проектування взуття необхідно встановити залежності основних параметрів стопи (довжини, ширини та обхвату) в залежності від віку дітей-школярів, що дозволить поступово переходити від рішення окремих задач за допомогою програмних продуктів для комплексної автоматизації процесу проектування взуттєвих виробів.

Подібний підхід дає можливість розробити програмні модулі, котрі дозволять автоматизовано проектувати взуття для дітей-школярів, включаючи усі стадії процесу проектування деталей верху взуття.

Викладення основного матеріалу

Для розширення асортименту взуття, підвищення його конкурентоспроможності, поліпшення якості необхідна розробка інноваційних систем проектування з врахуванням анатомічних особливостей стоп та сучасних, модних конструктивних рішень.

Початковим етапом розробки аналітичних основ автоматизованого проектування взуття є встановлення вікових груп, котрі необхідні для забезпечення точності та адекватності аналітичних моделей.

У медичних джерелах широко відома наступна класифікація, яка ґрунтується на вікових та анатомо-фізіологічних особливостях дітей: період новонародженого (2-3 тижні); період грудного віку (до 1 року); перед-дошкільного (з 1 року до 3 років); дошкільний вік (з 3 до 7 років); молодший шкільний вік (з 7 до 12 років); середній, або підлітковий, вік (з 12 до 15 років); старший шкільний, або юнацький, вік (з 14 до 18 років у дівчаток, з 15-16 років до 19-20 років у хлопчиків).

У педагогічній психології найчастіше використовують періодизацію, засновану на педагогічних умовах. Тобто, періоди дошкільного віку підрозділяються відповідно групам дитячого садка, а в шкільному віці виділяють три етапи: молодший (I-IV класи), середній (IV-IX класи), старший (X -XI класи).

У сучасній науці немає єдиної загальноприйнятої класифікації періодів росту і розвитку та їх вікових меж, але найчастіше використовується наступний поділ: немовля (1-10 днів); грудної вік (10 днів - 1 рік); раннє дитинство (1-3 роки); перше дитинство (4-7 років); друге дитинство (8-12 років для хлопчиків, 8-11 років для дівчаток); підлітковий вік (13-16 років для хлопчиків, 12-15 років для дівчаток); юнацький вік (17-21 рік для юнаків, 16-20 років для дівчат); зрілий вік.

Згідно ГОСТ 3927-88 Колодки обувные. Общие технические условия – колодки і відповідне їм взуття за статеві-віковою ознакою поділяється на 10 груп. Кожна група має у своєму складі певну кількість розмірів і повнот. Зокрема, дитяче взуття поділяється на 8 груп, у дужках наведені межі довжин стоп: пінетки (95-125 мм); для ясельного віку (105-140 мм); малодитяча (145-165 мм); дошкільна (170-200 мм); для школярів-дівчаток (205-240 мм); дівоча (225-260 мм); для школярів-хлопчиків (205-240 мм); хлопчача (240-280 мм). Для кожного вікового періоду характерні специфічні особливості. Як відомо, діти шкільної групи майже постійно перебувають взутими, тому необхідно, щоб вироби були зручними та якісними. З огляду на це, потрібно значну увагу приділяти саме цим статеві-віковим групам при розробці сучасних та інноваційних методів проектування взуття.

У [7] запропонована методика дослідження динаміки росту стоп та наведено залежності, котрі дають змогу аналітично визначати співвідношення довжини стопи та віку. На основі цього встановлено, що у віці 11-13 відбувається певне уповільнення росту стоп. У [8] також були проведені дослідження стоп дітей віком 2-12 років та отримані дані, котрі свідчать про уповільнення росту стоп саме у віці 11-13 років.

З огляду на проведені нами дослідження та отримані результати динаміки росту стоп, обраний вік для подальших розробок аналітичних моделей автоматизованого проектування взуття – 11 -13 років, який згідно класифікації педагогічної психології – середній шкільний період. Якщо ж розглядати з позиції фізіології, то тривалість окремих вікових періодів в значній мірі мінлива і хронологічні рамки віку і його характеристики будуть неоднозначними. Тому прийнято вікове групування – середній шкільний період із поділом на групи хлопчиків і дівчаток, що дозволить враховувати їх особливості. Оскільки саме на цьому етапі відбувається формування організму [9] в цілому та стопи зокрема, тому необхідно якомога краще врахування анатомічних та морфологічних особливостей стоп. Традиційні ж методи та способи проектування не забезпечують відповідної точності та якості взуття [10].

На основі результатів проведення анатомічних та морфологічних досліджень стоп дітей-школярів встановлюються закономірності відношення основних анатомічних точок стопи відносно довжини стопи (внутрішній та зовнішній пучок, згин стопи, кінець мізинця, зовнішня та внутрішня щиколотки), а також отримання залежностей обхватів в перетині пучкової частини, прямого підйому та по лінії косого підйому.

Результати експериментальних досліджень анатомічних та морфологічних особливостей стоп дітей-школярів були оброблені з використанням стандартного статистично-математичного методу з використанням ПК (програм Excel, «STAT»).

Для встановлення коефіцієнтів значень співвідношень розмірних характеристик стоп до її довжини або аналітичних залежностей, які дозволяють визначити ці співвідношення в залежності від довжини стопи, необхідно визначити діапазон розподілу.

Згідно результатів обробки встановлено, що середньо-типова стопа для школярів-дівчаток – 233,4 мм, а для школярів-хлопчиків – 242,1. Однак, межі розподілу стоп для дівчат від 205 до 245 мм, а для хлопчиків відповідно від 205 до 255 мм. З огляду на це запропоновано дещо розширити діапазон довжин стоп, який наведений у вище зазначеному нормативному документі: для школярів -дівчаток – 205-245 мм, а школярів-хлопців – 205-255 мм.

Обробка отриманих даних паралельно здійснювалася з використанням розробленої методики обробки поліпараметричних моделей, котрі мають декілька факторів впливу. У нашому випадку цими факторами є:

- стать (дівчатка та хлопчики);
- довжина стопи;
- три обхватні розміри;
- основні анатомічні точки на стопі.

На рисунку 1 наведена послідовність обробки отриманих результатів досліджень.

На основі результатів обробки даних встановлено значення співвідношень розмірних характеристик стоп до її довжини, які наведені в таблиці 1. Для порівняння також визначені аналогічні показники досліджень стоп 80-х років минулого століття [11].

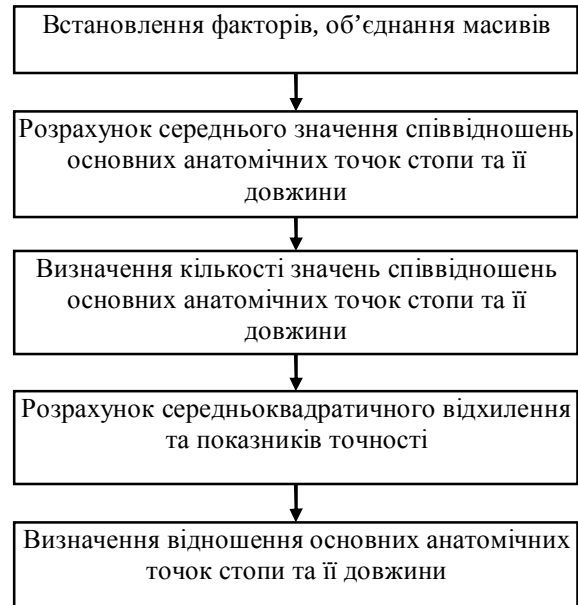


Рис. 1. Послідовність обробки результатів досліджень

Таблиця 1

Значення співвідношень розмірних характеристик характерних анатомічних точок стопи до її довжини

Основні анатомічні точки стопи	Хлопчача група		Дівчача група	
	Отримані результати	Дослідження 1980 рр.	Отримані результати	Дослідження 1980 рр.
Поздовжні розмірні характеристики стопи (вісь x)				
точка центру найширшого місця п'ятки	0,184	0,158	0,187	0,157
точка відростка п'ятої плеснової кістки	0,364	-	0,373	-
точка центру зовнішнього пучка	0,647	0,621	0,636	0,621
точка кінця мізинця	0,8	-	0,799	-
точка центру внутрішнього пучка	0,743	0,73	0,743	0,725
точка середини стопи	0,5	-	0,5	-
Поперечні розмірні характеристики стопи (вісь y)				
ширина п'ятки	0,269	0,262	0,272	0,258
переріз точки зовнішнього пучка – назовні	0,249	-	0,245	-
переріз точки внутрішнього пучка – всередину	0,13	-	0,14	-
переріз точки кінця мізинця – назовні	0,198	-	0,197	-

Отримані результати дозволяють виявити наявність у стопах сучасних дітей-школярів доволі суттєві відмінності, що вказує на неможливість використання колодок та взуття, спроектованих та виготовлених за застарілими даними.

У практиці проектно-конструкторських робіт для моделювання абрисів складних поверхонь існують різноманітні математичні підходи та методи з використанням аналітичної геометрії [12, 13].

Як уже було зазначено, основою проектування виробів є розробка та використання геометричних моделей або абрисів поверхонь.

У загальному моделювання абрисів поверхні з використанням аналітичної геометрії можна умовно розділити на дві групи:

- а) поверхні, котрі описують більшу частину об'єкта або весь об'єкт;
- б) абрис поверхні, які мають часту зміну форми на обмеженій ділянці виробу або об'єкта (стопа, взуттєва колодка, умовна розгортка колодки).

Якщо досліджується поверхня, яка описує складні у математичному змісті моделі, то це ускладнює завдання, вимагає більших витрат часу та ресурсів. Зовсім інша ситуація виникає, якщо моделюють абрис поверхонь. Локальний контур такої поверхні - абрис найчастіше вдається замінити менш громіздкими аналітичними моделями без втрати точності одержуваних результатів. Досягнути означеного результату можна, якщо застосовувати процедури пошуку аналітичних моделей – сплайнові криві, які дозволяють здійснювати відтворення абрисів будь-якої складності. У [14] розроблено методику застосування сплайнових кривих. Однак, недоліком є однозначність форми кривої та необхідність значної кількості керуючих точок для складних кривих абрисів, оскільки для системи керуючих точок застосовуються прямолінійні напрямні.

На основі цього досить актуальним є завдання розробки методу профілювання абрисів деталей, застосовуючи сплайнові криві, котрі забезпечать зниження порядку кривої високої складності, в тому числі – з кривизною різного знаку, що є досить вагомо при проектуванні взуття для дітей-школярів.

Запропоновано метод профілювання абрисів з застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними. Суть цього методу полягає в тому що, побудова кривої абрису відбувається за допомогою дуг кола, при цьому можливі варіанти – з протилежним знаком кривизни, що дає змогу отримувати криві абрисів будь-якої форми при нижчому порядку сплайнової кривої. Цей метод відповідає наступним умовам: має відносно нескладний математичний апарат; реалізовується без залучення складного та дорогавартісного програмного забезпечення; є доступним для застосування у практиці проектування та виготовлення взуття.

Запропонований метод дозволяє отримувати аналітичні моделі абрисів стоп, умовної розгортки стопи, взуття, забезпечуючи при цьому високу точність.

За допомогою розробленого методу отримано абрис стоп дітей-школярів та визначені координати керуючих точок. В якості прикладу на рисунку 2 показано побудову абрису стопи хлопчачої групи, як найбільш складної фігури.

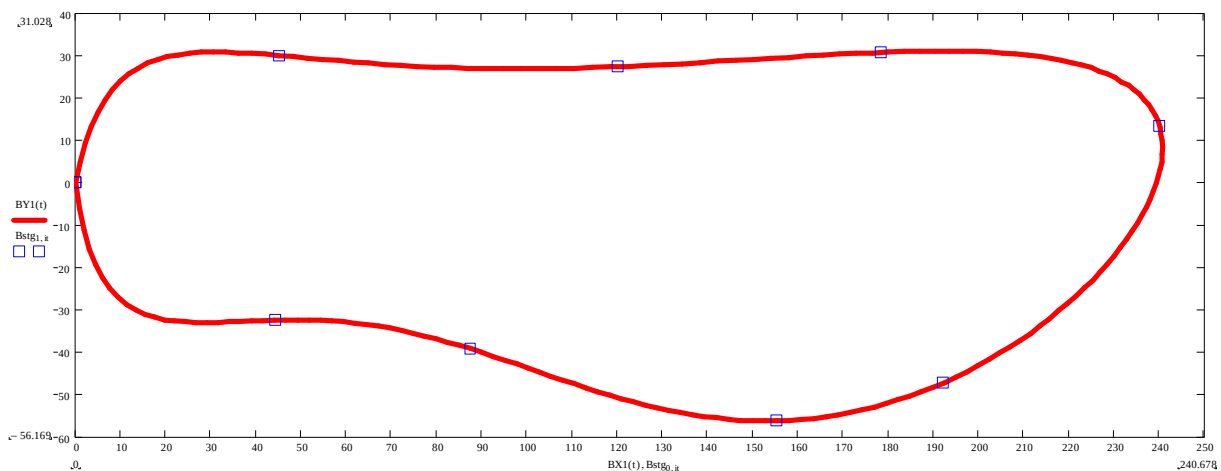


Рис. 2. Відображення абрису сліду стопи із застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними

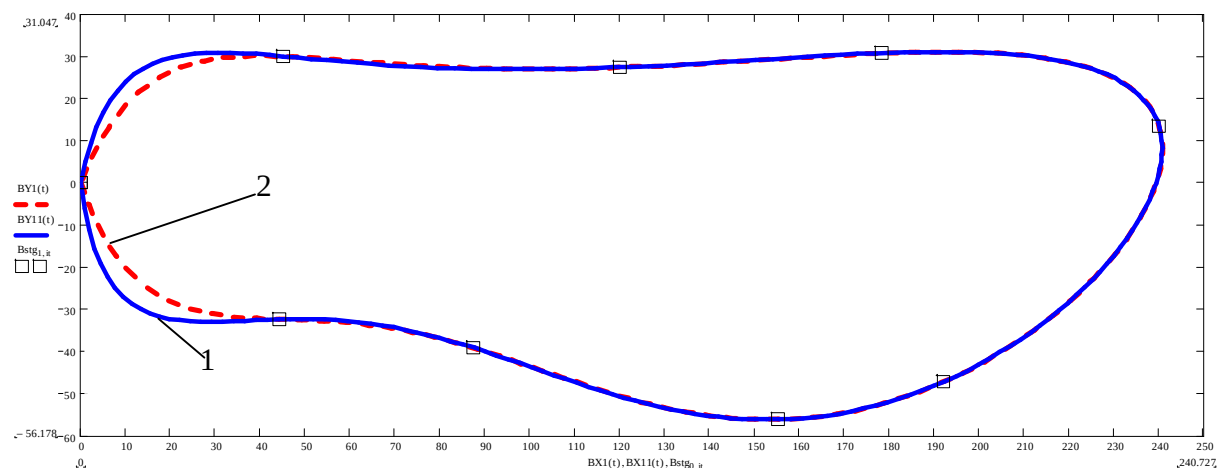


Рис. 3. Порівняння ідентифікації абрису сліду стопи наступними методами: 1 – з криволінійними напрямними, 2 – з прямолінійними напрямними

На рисунку 3 наведено порівняння одержання абрису стопи хлопчачої групи з застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними та з використанням сплайнових кривих з прямолінійними напрямними. Як слідє, найбільш точно крива проходить через всі характерні анатомічні точки, особливо у п'ятковій частині, з застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними.

На основі розробленого методу сформовано алгоритм автоматичного розрахунку координат кривої абрису стоп різних довжин дітей-школярів (рис. 4).



Рис. 4. Формування алгоритму автоматичного розрахунку координат кривої абрису стопи

На рисунку 5 показаний приклад побудови абрису сліду для різних довжин стопи (від 205 до 255 мм) хлопчачої групи з використанням вище зазначеного алгоритму.

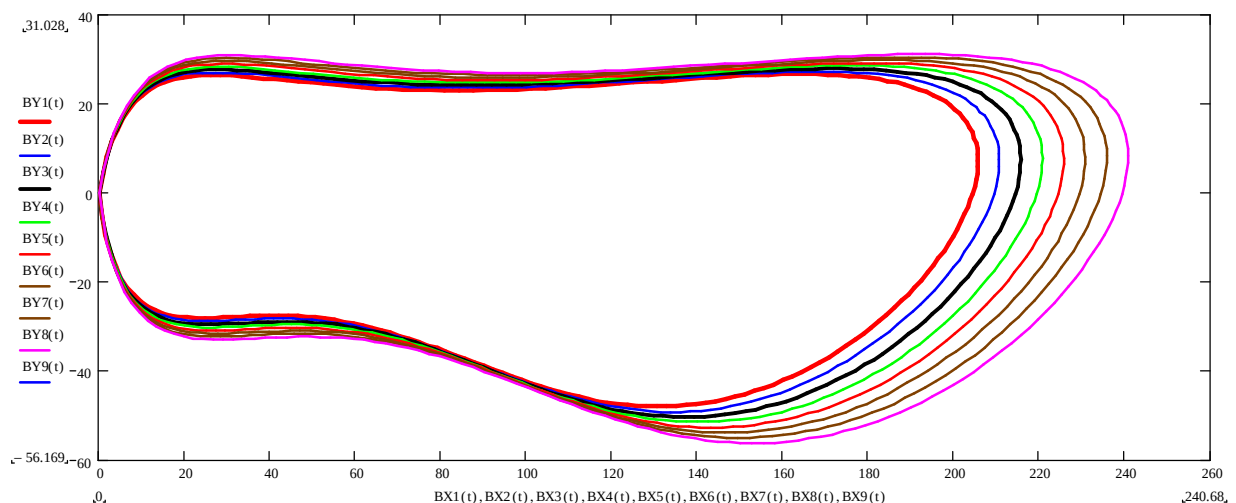


Рис. 5. Співставлення кривих абрисів для довжини стопи від 205 до 255 мм

Висновки

1. Встановлено аналітичні залежності росту стоп в залежності від віку дітей-школярів, що дасть змогу для подальших розробок аналітичних моделей автоматизованого проектування виробів.
2. Розроблено метод профілювання абрисів деталей сплайновими кривими з криволінійними напрямними, який є практично значимим у сучасних проектно-конструкторських роботах.

Література

1. Замарашкин Н.В. Обувь: проектирование, производство, эксплуатация / Н.В.Замарашкин, К. Н.Замарашкин / Спб. : СПГУТД, 2002. – 543 с.
2. Борисенко О. А. Аналітична геометрія: навч. посібник / О. А. Борисенко, Л. М. Ушакова . – Харків : Основа, 1993 . – 192 с. : іл.
3. Delcam Exchange – программное обеспечение для преобразование данных между разными форматами: [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту : <http://www.delcam.ru/products/exchange/exchange.htm>
4. Система проектирования технологических процессов (САПР-Т): [Электронный ресурс]. – Режим доступу до сайту : <http://eleandr-soft.ru/lectra.htm>
5. Рябец О. І. Геометрія деталей взуття / О. І. Рябец, С. М. Альошкова, Т. І. Бухтіярова // Вісник КНУТД. – 2007. – № 1. – С. 78-82.
6. Цимбалюк В. М. Автоматизація проектування типових конструкцій взуття копіювально-графічним методом / В. М. Цимбалюк, А. В. Гурницький // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2007. – №6, т.2. – С. 121-125.
7. Надопта Т.А. Методика дослідження динаміки росту довжини стоп дітей-школярів / Т.А. Надопта, А.Б. Домбровський, О.В. Скідан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 5. – С 73-77.
8. Бекк М.В. Разработка методики прогнозирования ассортимента детской обуви: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.06 / Бекк Мария Владимировна. – М., 2013. – 176 с.
9. Анатомія кінцівок : навч. посібник / В. Г. Ковешніков, В. З. Сікора, В. С. Пикалюк [та ін.] ; Сумський державний університет, Медичний інститут. – Суми : СумДУ, 2014. – 244 с. : іл.
10. Надопта Т.А. Загальні критерії якості взуттєвих виробів для дітей-школярів / Т.А. Надопта, А.Б. Домбровський, О.В. Скідан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 4. – С 244-249.
11. Фарниева О. В. Усовершенствование размерной стандартизации и ассортимента обуви / О.В. Фарниева, К.Н. Нургельдиев. – Ашхабад : ЫЛЫМ, 1982. – 191 с.
12. Гувеннов М. Б. Использование метода скользящей аппроксимации при геометрическом моделировании поверхностей: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.01.01 «Геодезические науки» / М. Б. Гувеннов. – Нижний Новгород, 2013. – 21 с.
13. Павлова, С.В. Описание виртуальной модели изделия в индустрии моды с позиции геометрического моделирования формы / С.В. Павлова, Аюшеев Т.В. // Вестник ВСГТУ. – 2007. – № 3. – С.32-35
14. Надопта Т.А. Розробка методу проектування деталей верху взуття на основі аналітичної моделі прототипу: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.18 / Надопта Тетяна Анатоліївна. – Хмельницький, 2013. – 214 с.

References

1. Zamaraškyn N.V. Obuv: proektyrovanye, proyzvodstvo, ekspluatatsiya / N.V.Zamaraškyn, K. N.Zamaraškyn / Spb. : SPHUTD, 2002. – 543 s.
2. Borysenko O. A. Analityčna heometrija: Navč. posibnyk / O. A. Borysenko, L. M. Ušakova . – Xarkiv : Osнова, 1993 . – 192 s. : il.
3. Delcam Exchange – prohrammnoe obespečenie dlja preobrazovanye dannyh meždru raznymi formatamy: [Elektronnyj resurs] – Režym dostupu do sajtu : <http://www.delcam.ru/products/exchange/exchange.htm>
4. Systema proektyrovanyja tehnolohičeskyx processov (SAPR-T): [Elektronnyj resurs] – Režym dostupu do sajtu : <http://eleandr-soft.ru/lectra.htm>
5. Rjabec O. I. Heometrija detalej vzuttja / O. I. Rjabec, S. M. Aloškova, T. I. Buxtijarova // Visnyk KNUITD. – 2007. – № 1. – S. 78-82.
6. Cymbaljuk V. M. Avtomatyzacija proektuvannja typovyh konstrukcij vzuttja kopijuvalno-hrafičnym metodom / V. M. Cymbaljuk, A. V. Hurnyckij // Visnyk XNU. – 2007. – № 6, T.2. – S. 121-125.
7. Nadopta T. A. Metodyka doslidžennja dynamiky rostu dovžyny stop ditej-skoljariv / T. A. Nadopta, A. B. Dombrovskij, O. V. Skidan // Visnyk Xmelnytskoho nacionalnoho universytetu. – 2014. – № 5. – S 73-77.
8. Bekk M. V. Razrabotka metodyk prohnozyrovanyia assortymenta detskoj obuvy: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.19.06 / Bekk Maryia Vladymirovna. – M., 2013. – 176 s.
9. Anatomiiia kintsivok : navchalnyi posibnyk / V. H. Koveshnikov, V. Z. Sikora, V. S. Pykaliuk [ta in.] ; Sums'kyi derzhavnyi universytet, Medychnyi instytut. – Sumy : SumDU, 2014. – 244 s. : il.
10. Nadopta T. A. Zahalni kryterii yakosti vzuttievykh vyrobiv dlja ditei-shkoliariv / T. A. Nadopta, A. B. Dombrovskiy, O. V. Skidan // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2014. – № 4. – S 244-249.
11. Farnyeva O. V., Nurcheldyev K. N., Usovershenstvovanye razmernoj standartyzatsyy y assortymenta obuvy: ЫЛЫМ: Ashkhabad – 1982. – 191 s.
12. Huvennov M. B. Yspolzovanye metoda skolziashchei approksymatsyy pry heometrycheskom modelirovanny poverkhnostei: avtoref. dys. na soyskanye nauchn. stepeny kand. tekhn. nauk : spets. 05.01.01 «Heodezycheskye nauky» / M. B. Huvennov. – Nyzhnyi Novhorod, 2013. – 21 s.
13. Pavlova, S.V. Opyasnye vyrtualnoi modely yzdeliya v yndustryi mody s pozytsyy heometrycheskoho modelirovanyia formy. [Tekst] / S.V. Pavlova, Aiusheev T.V. // Vestnyk VSHTU. – 2007. – № 3 – S.32-35
14. Nadopta T. A. Rozrobka metodu proektuvannia detalei verkhv vzuttia na osnovi analitychnoi modeli prototypu: dys. ...kand. tekhn. nauk: 05.18.18 / Nadopta Tetiana Anatoliivna – Khmelnytskyi, 2013. – 214 s.

Рецензія/Peer review : 19.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Досліджено колоїдно-хімічні властивості екологічно безпечних поверхнево-активних речовин (ПАР): Бетайну, Неоолу, Синтанолу АЛМ 5, Сульфолabu, Проксанолу 268. Визначено поверхневий натяг, критичну концентрацію міцелоутворення (ККМ), змочувальну, солюбілізуючу здатність водних розчинів екологічно безпечних ПАР. Запропоновано оптимальні умови застосування екологічно безпечних ПАР для підвищення ефективності здійснення технологічних процесів.

Ключові слова: екологічно безпечні ПАР, текстильно-допоміжні речовини, опорядження, фарбування

О.А. PARASKA, S.A. KARVAN, T.S. RAK

Khmelnitsky National University

THE RESEARCH OF PROPERTIES OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SURFACTANTS

During the exploitation of textile products the human body has a direct contact with textile materials for whole life, so today the problem of their safety is particularly important in the production of textiles and clothes. To get the textile materials with special properties it is possible the use of surfactants, polyelectrolytes, polymer dispersions, mineral nanoparticles, active additives and synergistic composition based on them. After processing the textiles by standard textile chemicals with complex action the adhesive, water-repellent, capillary, antistatic, hygienic, anti-microbial and other properties are imparted to textile materials depending on their specific purpose and application areas. Thus, the selection of environmentally friendly raw materials combined with modern technology is an important and urgent task that will ensure the production of high quality and safe standard textile chemicals.

In this research the colloidal and chemical properties of environmentally friendly surfactants (Betaine, Proksanol 268, Sulfolab, Sintanol ALM 5, Neonol) were studied. The quantitative and qualitative indicators to assess the technological properties of environmentally friendly surfactants were determined.

Keywords: environmentally friendly surfactant, textile additives, finishing, dyeing, printing.

Вступ

Ринок текстильної і легкої промисловості є динамічним і постійно розширюється завдяки поповненню асортименту новими текстильними матеріалами на основі сумішей природних, штучних і синтетичних волокон з використанням текстильних ефектів і спеціальних видів опорядження. Слід підкреслити, що в умовах ринкової економіки рівень екологічної безпеки будь-якого товару, включаючи текстильну продукцію, визначає не тільки рівень його конкурентоспроможності на ринку, але й стає домінуючим критерієм комплексної оцінки рівня якості. Аналіз світового ринку екологічно безпечних груп виробів легкої і текстильної промисловості, показує, що існує взаємозв'язок між станом ринку, наприклад, видів товарів легкої і текстильної промисловості і ресурсним забезпеченням підприємств, що виробляють ці товари, екологічно безпечними видами сировини (волокнами, нитками, барвниками, текстильно допоміжними речовинами, апретатами та ін.). Законодавцями розвитку та функціонування цього ринку є відомі корпорації і брендові підприємства з пошиття одягу і взуття (торгові марки Dolce & Gabbana®, Hermes®, Armani®, Christian Dior®, Versace®) та провідні транснаціональні компанії (Adidas®, Puma®, Reebok®, Nike® та інші), які займаються виробництвом екологічно безпечних виробів легкої і текстильної промисловості на міжнародному ринку.

Аналіз літературних джерел [1, 2] показав, що основними видами сировини для виробництва екологічно безпечної продукції на підприємствах текстильної і легкої промисловості є натуральні волокна і виготовлені з них текстильні полотна, натуральна шкіра, натуральні (переважно рослинні) та нетоксичні синтетичні барвники, текстильно допоміжні речовини, апрети і мийні засоби, які піддаються біорозкладу.

В процесі експлуатації текстильних виробів, організм людини має безпосередній контакт з текстильними матеріалами протягом всього життя, тому питання їх безпечності на сьогодні є особливо важливим у виробництві текстильних матеріалів і одягу. Отримати текстильні матеріали зі спеціальними властивостями можливо за допомогою застосування поліелектролітів, дисперсій полімерів, мінералів, наночастинок, активних добавок та синергетичних композицій на їх основі. Після обробки текстильно допоміжними речовинами (ТДР) комплексної дії текстильні матеріали надаються антиадгезійні, водовідштовхувальні, капілярні, антистатичні, гігієнічні, антимікробні властивості в залежності від їх конкретного призначення і галузі застосування [3]. Таким чином, підбір екологічно безпечних видів сировини у поєднанні з сучасними технологіями є важливим і актуальним завданням, що дозволить гарантувати випуск високоякісних та безпечних ТДР.

Постановка завдання дослідження

Для забезпечення рентабельності текстильної продукції та її асортименту сьогодні впроваджуються екологічно безпечні технології, що характеризуються: суміщенням технологічних операцій і процесів; скороченням часом здійснення; зниженням витрат води і хімічних реагентів в тому числі за рахунок розпилення розчинів і застосування пінних складів; повторного використання води; використанням ПАР,

ТДР. Засоби для опорядження повинні відповідати наступним гігієнічним вимогам: не повинні надавати подразнювальної і алергенної дії на організм людини при дотриманні режиму їх використання. Вони не повинні мати тератогенний, канцерогенний, ембріотоксичний, мутагенний та інші негативні впливи на організм людини; до рецептури засобів для опорядження повинні входити інгредієнти, що випускаються за нормативною документацією, погодженою з органами санітарно-епідеміологічної служби України; не містять хімічні речовини I та II класів небезпеки; агрегатні стани композицій повинні запобігати попаданню в дихальні шляхи, травний тракт і на слизові оболонки людини при їх використанні; синтетичні композиції не повинні змінювати фізико-хімічних властивостей оброблюваних матеріалів і погіршувати їх гігієнічні властивості; при розробці нових рецептур композицій слід використовувати ПАР з високим ступенем біодеградації (біоПАР) [2, 4].

БіоПАР, на відміну від синтетичних, піддаються біодеградації є екологічно безпечними. Специфічні властивості біогенних ПАР визначають перспективи їх використання для створення нових і модифікації існуючих препаратів. Практичне застосування біоПАР зумовлене їх здатністю істотно знижувати поверхневий і міжфазний натяг водних розчинів, емульгувати гідрофобні речовини, регулювати змочування поверхонь і реологію розчинів. БіоПАР мають високу ефективність, підвищують активність ферментів. У зв'язку із цим біоПАР є перспективними як самостійні реагенти, а також для створення препаратів комплексної дії.

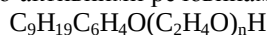
Об'єкти та методи дослідження

Для дослідження були обрані екологічно безпечні ПАР вітчизняного і закордонного виробництва: Бетаїн, Неонол, Синтанол АЛМ 5, Сульфолаб, Проксанол 268, які володіють високим ступенем біорозкладу [5].

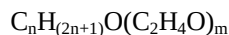
Бетаїн є амфотерною поверхнево-активною речовиною. Виробляється з жирних кислот кокосового масла, прозора рідина жовтуватого кольору зі слабким характерним запахом. Допоміжний ПАР, не подразнює шкіру, зменшує подразнювальну дію інших ПАР, у поєднанні з аніонними ПАР використовується як загусник, покращує піноутворювальну здатність і підвищує безпечність ТДР. Вміст основної речовини від 46 до 48 %. Хімічна формула:



Неонол - оксиетильований нонілфенол, технічна суміш ізомерів оксиетильованих алкілфенолів на основі тримерів пропіленів. Оксиетильовані моноалкілфеноли на основі тримерів пропілену є високоефективними неіоногенними поверхнево-активними речовинами. Хімічна формула:



Синтаноли – оксиетильованні спирти, являють собою суміш поліетиленгліколевих естерів з різною кількістю оксиетиленових груп і величиною радикала R. Синтанол АЛМ 5 неіоногенна поверхнево-активна речовина, хімічна формула:



де n від 10 до 13 довжина вуглецевого ланцюга, m від 7 до 10 ступінь етоксietiлювання. Марка позначається за ступенем етоксietiлювання, наприклад, АЛМ 5, m=5.

Сульфолаб отримують сульфуванням лінійного алкілбензолу, використовують для отримання алкілбензолсульфонатів – компонентів мийних засобів, ПАР, для флотації руд. В'язка речовина коричневого кольору, утворює стійку піну, мийна здатність не знижується у жорсткій воді, ступінь біорозкладу 90 %. Застосовується в якості піноутворювача для піноізола. Хімічна формула:



де R для основної фракції – $C_{12}H_{25} - C_{14}H_{29}$

Проксанолі – блоксополімери етиленоксиду і пропілен оксидів, загальної формули:



де n і (m + m'), варіюють від декількох одиниць до декількох десятків; молярна маса від 1000 до 20000, частка поліоксиетиленових блоків може складати від 10 до 80 % за масою.

Проксанол-268 (n = 45, (m + m') = 260). Розчинність проксанолів залежить від молярної маси і від співвідношення компонентів n і (m + m'), розчиняються краще в холодній воді. Змочувальна здатність проксанолів погіршується із зменшенням частки гідрофільних поліоксиетильованих блоків у молекулі, піноутворювальна здатність зростає із збільшенням молярної маси.

З метою оцінки ефективності дії та активності ПАР в різних середовищах і прогнозування оптимальних добавок в технологічних процесах, визначали колоїдно-хімічні властивості екологічно безпечних ПАР [6]:

- поверхневий натяг розчинів ПАР при температурі 20°C, σ (мН/м);
- критичну концентрацію міцелоутворення (ККМ, г/л);
- змочувальну здатність розчинів ПАР, яку характеризували крайовим кутом змочування парафінової поверхні (θ, град);
- оптичну густину (каламутність) (D);
- солюбілізуючу здатність (S);
- здатність до піноутворення поверхнево-активної речовини, яку оцінювали висотою стовпа піни (H₀, мм), утвореного з розчинів ПАР і його стійкістю (S_p, %).

Експериментальна частина

Колоїдно-хімічні властивості [7] водних розчинів екологічно безпечних ПАР при критичній концентрації міцелотворення наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Колоїдно-хімічні властивості екологічно безпечних ПАР

Властивості	Бетаїн	Проксанол 268	Сульфолаб	Синтанол АЛМ 5	Неонол
Молярна маса, г/моль	342,57	13000	322	362,54	12748
ККМ, моль/л	$2,8 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$0,72 \cdot 10^{-4}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$
σ , мН/м	71,04	64,46	60,88	70,61	52,6
θ , град	73,74	75,43	69,47	80,47	46,21
D	0,16	0,025	0,06	0,035	0,19
H ₀ , мм	33	24	60	11	24
Sp, %	91	64	89	90	87

Оцінка ефективності змочувальної дії ПАР важлива при їх використанні в процесі миття текстильних матеріалів. В результаті орієнтованої адсорбції ПАР на твердих поверхнях відбувається їх гідрофілізація і відповідно підвищення змочувальності розчинником.

На рисунку 1 наведено приклади залежності крайових кутів змочування парафінової поверхні від концентрації їх у розчині. Крайові кути вимірювались в момент контакту розчину з парафіном (θ_1) і через 15 хвилин, коли встановлюється термодинамічна рівновага – рівноважний кут змочування (θ_2). Дослідження показали, що із зростанням концентрацій ПАР від $4 \cdot 10^{-4}$ до $2,4 \cdot 10^{-3}$ моль/л збільшується швидкість розтікання краплі, що свідчить про збільшення змочувальної здатності розчинів, після чого крайові кути досягають граничного значення. Характерною особливістю в ході кривих $\theta=f(C)$ є різка різниця в значенні крайових кутів при малих концентраціях розчинів, і навпаки, майже повне згладжування цих відмінностей в розчинах з більшою концентрацією ПАР.

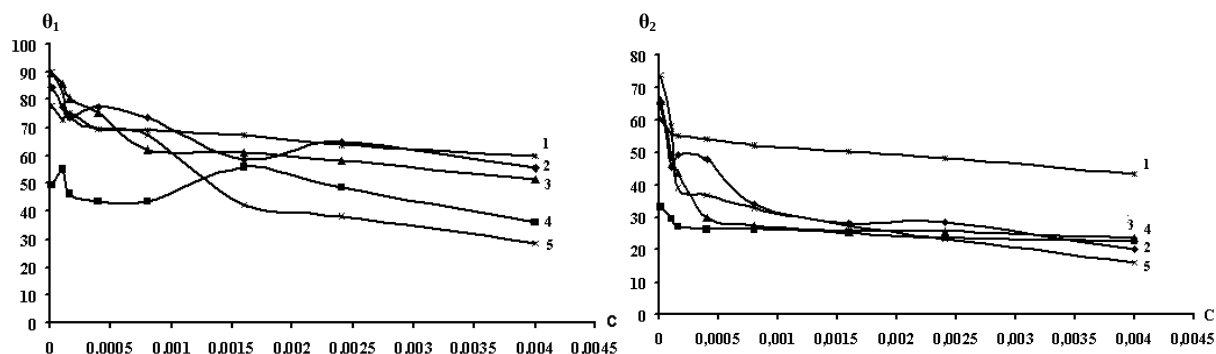


Рис. 1 – Залежність крайових кутів змочування (θ , град) парафінової поверхні від концентрації розчинів (C, моль/л): 1- Проксанол 268, 2-Бетаїн, 3-Синтанол АЛМ 5, 4 - Неонол, 5- Сульфолаб

Явище солюбілізації широко використовується в різних процесах, пов'язаних із застосуванням ПАР, наприклад в емульсійній полімеризації, при виготовленні емульсійних змащувальних рідин, одержанні фармацевтичних препаратів, харчових продуктів [8]. В результаті солюбілізації одержують стійкі дисперсні системи (мікроемульсії, ультрамікрогетерогені емульсії). Аналіз результатів дослідження солюбілізації барвника жиророзчинного червоного розчинниками ПАР, якій характеризували вимірюванням оптичної густини розчинів (D), показує, що цей процес протікає в широкому інтервалі концентрацій (рис. 2). При цьому мінімальна солюбілізаційна здатність відповідає концентраціям порядку ККМ, а максимального значення вона досягає при концентраціях, що перевищують ККМ в 2 рази.

Після ККМ починається різке зростання солюбілізації барвника розчинами ПАР. Солюбілізаційна здатність сульфолабу і проксанолу 268 відбувається при більш високих концентраціях, що пояснюється адсорбцією молекул ПАР на барвнику, який застосовується для визначення солюбілізації.

Для оцінки піноутворювальних властивостей розчинів ПАР та їх сумішей використовують різні критерії: кратність, стабільність (стійкість) і дисперсність піни. Комплексною характеристикою, що враховує максимальний за даних умов об'єм піни і час її життя є піноутворювальна здатність розчину. Кількісно вона виражається об'ємом піни (або висотою пінного стовпа), який можна отримати в конкретних умовах (спосіб піноутворення, температура, концентрація ПАР, рН, і т.д.) з певного об'єму розчину. Під стійкістю піни в загальному випадку розуміють її здатність зберігати незмінними у часі основні параметри: дисперсність бульбашок, вміст рідини (кратність) і об'єм піни в цілому. Основною і найбільш ефективною методикою визначення піноутворювальної здатності розчинів є метод виливання Росса-Майлса (ДСТУ ISO 696: 2005). Цей метод прийнятий в багатьох країнах в якості стандартного [9]. Піноутворювальну здатність

розчинів ПАР при різних концентраціях розчину оцінювали за висотою пінного стовпа: H_0 , мм – висота пінного стовпа в момент утворення та H_5 , мм – через 5 хвилин після утворення піни. Результати досліджень представлено в таблиці 2.

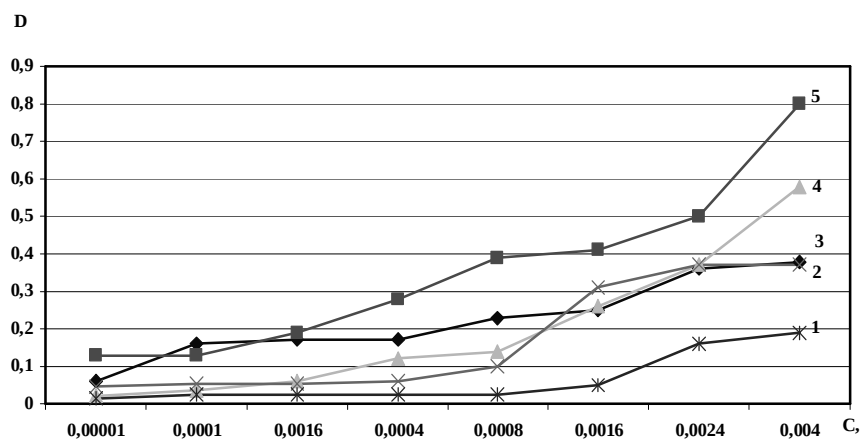


Рис. 2 – Залежність оптичної густини розчинів (D) від концентрації (C):
1- Проксанол 268, 2-Бетаїн, 3- Синтанол АЛМ 5, 4- Сульфолаб, 5- Неонол

Таблиця 2

Піноутворювальна здатність розчинів екологічно безпечних ПАР

C, моль/л	Бетаїн		Неонол		Синтанол АЛМ 5		Сульфолаб		Проксанол 268	
	H_0	H_5	H_0	H_5	H_0	H_5	H_0	H_5	H_0	H_5
10^{-5}	10	5	20	18	5	2	10	2	14	9
10^{-4}	15	15	23	20	10	8	16	14	24	19
$1.6 \cdot 10^{-4}$	17	15	24	21	10	9	28	25	30	25
$4 \cdot 10^{-4}$	33	30	35	31	11	10	60	51	55	30
$8 \cdot 10^{-4}$	111	103	35	32	11	10	85	80	50	23
$1.6 \cdot 10^{-3}$	115	109	55	50	12	11	92	85	49	25
$2.4 \cdot 10^{-3}$	115	105	68	58	13	12	113	85	45	23
$4 \cdot 10^{-3}$	137	123	105	98	15	14	145	135	43	25

Для вибору оптимальних компонентів пінних систем для процесів миття та опорядження текстильних матеріалів визначали стійкість пінного стовпа індивідуальних ПАР. На рисунку 3 представлено стійкість пінного стовпа розчинів ПАР.

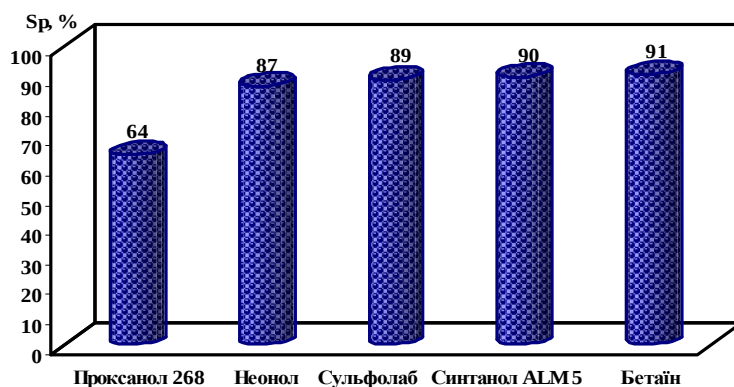


Рис. 3. Стійкість піни (S_p , %) екологічно безпечних ПАР

Найбільшою стійкістю піни, серед досліджуваних ПАР володіє Бетаїн – стійкість піни 91%, а найменшою – Проксанол 268, стійкість піни – 64% відповідно.

Висновки

В результаті проведених досліджень визначено кількісні та якісні показники для оцінки технологічних властивостей екологічно чистих ПАР: Бетаїну, Проксанолу 268, Сульфолабу, Синтанолу АЛМ 5, Неонолу.

Дослідження показали, що Бетаїн рекомендується використовувати в якості активної добавки до рідких, пастоподібних і мийних засобів. Неонол доцільно використовувати в текстильній промисловості в композиціях мастильних, гідравлічних рідин, як активної основи для технічних мийних засобів, сировини

для синтезу деяких типів активної основи для ТДР, як компоненти шампунів і охолоджувальних рідин для автомобілів. Синтанол ALM 5 – як компонент мийних засобів, як стабілізатор суспензій, емульгатор, антистатик при обробці синтетичних волокон, знежирення вовни і металевих поверхонь, змочувач при фарбуванні кубовими барвниками, диспергатор. Сульфолаб є перехідним продуктом у виробництві ПАВ, які часто використовуються для виробництва порошкових або рідких мийних засобів та ТДР. Проксанол 268 рекомендується для застосування у композиціях мийних засобів і змочувальних речовин в текстильній промисловості, диспергаторів пігментів, емульгаторів, деемульгаторів, синтетичного компонента у мийних засобах та ТДР, компонентів фармацевтичних та косметичних препаратів.

Література

1. Сафонов, В. В. Перспективы развития технологии отделки текстильных материалов [Текст] / В. В. Сафонов // Текстильная промышленность. – 2005. – № 7-8. – С. 57–66.
2. Rosen, M.J.: Surfactants and Interfacial Phenomena [Text] : 3th ed., John Wiley&Sons., Inc., ISBN 0-471-47818-0, Hoboken, New Jersey, USA, (2004).
3. Schramm, L. Laurier. Surfactants and their applications [Text] : / Laurier L. Schramm, Elaine N. Stasiuk and D. Gerrard Marangoni // Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. – 2003. – № 99 – P. 3 – 48.
4. Raw Materials for Textile Auxiliaries [Text]: // Evonik Industries, Catalog, Germany, 2014. – № 2 – P. 2 – 16.
5. Karvan S., Paraska O., Daniv L. Trends in the market of surfactants in Ukraine and assessment of their effectiveness, 9th World surfactant congress and business convention, June 10 – 12, 2013, Barcelona, Spain, P. 48.
6. Atkins, P. & Paula, J.: Atkins` Physical Chemistry, 8th ed., W.H.Freeman, ISBN 0-7167-8759-8, Oxford University Press, Great Britain, (2006)
7. Matveitsova D., Karvan S., Paraska O. Research of the colloidal, chemical and technological properties of the binary mixtures of surfactants, Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy : Monograph ed. by J. Shalapko and B. Iyitowski, ISBN 978-617-70-94-07-3, Bydgoszcz, 2013, P. 531 – 540.
8. Параска О.А. Визначення закономірностей процесу солюбілізації водними і неводними розчинами ПАВ / О.А. Параска, С.А. Карван // Prace kol naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2008/2009, p. 169-176.
9. Paraska, O. The creation of high- and low-foaming surfactant compositions for the technological processes of production of textile materials [Text] / O. Paraska, S. Karvan, T. Rak // UTIB VI th International R&D Project Brokerage Event In Turkish Textile and Clothing Sector Bursa, Turkey, 3-4 April 2014. – P. 68.

References

1. Safonov, V. V. (2005). Prospects of development of textile finishing technologies. Textile industry, 57–66.
2. Rosen, M.J.: Surfactants and Interfacial Phenomena [Text] : 3th ed., John Wiley&Sons., Inc., ISBN 0-471-47818-0, Hoboken, New Jersey, USA, (2004).
3. Schramm, L. Laurier. Surfactants and their applications [Text] : / Laurier L. Schramm, Elaine N. Stasiuk and D. Gerrard Marangoni // Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. – 2003. – № 99 – P. 3 – 48.
4. Raw Materials for Textile Auxiliaries [Text]: // Evonik Industries, Catalog, Germany, 2014. – № 2 – P. 2 – 16.
5. Karvan S., Paraska O., Daniv L. Trends in the market of surfactants in Ukraine and assessment of their effectiveness, 9th World surfactant congress and business convention, June 10 – 12, 2013, Barcelona, Spain, P. 48.
6. Atkins, P. & Paula, J.: Atkins` Physical Chemistry, 8th ed., W.H.Freeman, ISBN 0-7167-8759-8, Oxford University Press, Great Britain, (2006).
7. Matveitsova D., Karvan S., Paraska O. Research of the colloidal, chemical and technological properties of the binary mixtures of surfactants, Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy : Monograph ed. by J. Shalapko and B. Iyitowski, ISBN 978-617-70-94-07-3, Bydgoszcz, 2013, P. 531 – 540.
8. Paraska O.A, Karvan S.A. The determination of the regularity of the process of solubilization by aqueous and non-aqueous solutions of surfactants. // Prace kol naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2008/2009, p. 169-176.
9. Paraska, O. The creation of high- and low-foaming surfactant compositions for the technological processes of production of textile materials [Text] / O. Paraska, S. Karvan, T. Rak // UTIB VI th International R&D Project Brokerage Event In Turkish Textile and Clothing Sector Bursa, Turkey, 3-4 April 2014. – P. 68.

Рецензія/Peer review : 7.5.2015 p. Надрукована/Printed : 13.5.2015 p.

Рецензент: Параска Г.Б.

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОВІДЦЕНТРОВОГО СПОСОБУ ФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ

В роботі уточнено діапазон вхідних факторів процесу формування. Досліджено залежність якості формування від комплексної дії головних факторів. Встановлено вплив структурних характеристик будови матеріалу та його призначення на якість отриманих форм.

Ключові слова: формування, відцентрові зусилля, головки головних уборів, фактори процесу формування, динамічні методи формування.

N.O. KUSHEVSKIY, Y.V. KOSHEVKO

Khmelnitsky national university, Khmelnytsky, Ukraine

COMPREHENSIVE RESEARCH GIDROCENTRIFUGAL METHOD OF FORMING OF DETAILS OF HEAD-DRESSES

In the work the range of input factors forming process. The dependence of the quality of the formation of the complex action of the main factors. The influence of the structural characteristics of the structure of the material and his appointment to the quality of the forms.

Keywords: forming, centrifugal efforts, heads of head-dresses, factors of proces forming, dynamic methods of forming.

Вступ

Надання об'ємної форми деталям головних уборів є складним завданням, в процесі реалізації якого закладаються такі споживчі властивості виробу, як формостійкість та зовнішній вигляд. При виготовленні головних уборів актуальним та складним завданням є створення об'ємної форми деталей із плоских матеріалів. При цьому значну роль відіграють не тільки особливості процесу формування, але і структурні характеристики використовуваних тканин. Під час розробки нової технології формування необхідно враховувати зазначені аспекти і раціонально використати особливості будови тканини, діючи на її структуру РАРС з певним навантаженням. Актуальним завданням на сьогодні є також визначення комплексної дії вхідних параметрів гідровідцентрового способу формування.

Експериментальні дослідження є однією з найбільш важливих складових частин наукових досліджень. Метою проведення експерименту є перевірка теоретичних положень, а також їх більш широке та глибоке вивчення. [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботі [2] для дослідження відцентрового способу формування робочим середовищем якого є пара основними вхідними керованими параметрами виступають частота обертання барабану та тиск пари. У роботі [3, 4] в якості вхідних факторів, що впливають на процес відцентрового формування використовували частоту обертання барабану, тиск пари, та тривалість пропарювання.

Багаторазові дослідження довели, що форма термомеханічних кривих різних текстильних матеріалів дуже близька до термомеханічної кривої аморфного полімеру. Важливу роль при зміні деформаційних властивостей тканин виконує волога, яка взаємодіє зі структурою полімеру та виступає в системі «полімер-волога» як пластифікатор і теплоносії.

Дослідження показали, що при зволоженні тканини до 10% її деформація досягається в чотири рази швидше, аніж в повітряно-сухому стані.

Відомо що зміна стану полімеру пов'язана зі змінами співвідношення міжмолекулярних сил і теплового руху, який відбувається під дією ряду зовнішніх факторів внаслідок підвищення температури, що призводить до збільшення теплового руху; сорбції полімером різних речовин, які заміщають частину міжмолекулярних зв'язків і, тим самим, послаблюють взаємодію між ними.

Теплота сорбції пари при $T_p=105^{\circ}\text{C}$ складає 480 кДж/кг сухої тканини. За рахунок цього відбувається швидке, майже миттєве, розігрівання тканини до температури точки роси і перехід волокон полімеру у високоеластичний стан. Теплота адсорбції проявляється тільки при вологості матеріалу менше гігроскопічної (для целюлози $W=20\%$). При подальшому підведенні пари до тканини відбувається видалення (десорбція) вологи, що сконденсувалася, і тканина приймає нарешті температуру робочого середовища. Тобто, робоче середовище у вигляді пари різних параметрів, яке на сьогоднішній день використовується в процесах волого-теплової обробки (ВТО), в силу вищевказаної причини не може дати можливості волокнам і тканині в цілому поглинути вологи більше гігроскопічного значення. Тим самим, така технологія має обмеження з точки зору максимального використання деформаційних властивостей тканини.

Відомо, що збільшення вологовмісту в текстильному матеріалі значно зменшує температуру переходу зі склоподібного у високоеластичний стан, покращує деформаційні властивості, а також релаксаційні процеси.

Таким чином, альтернативою є застосування води (РАРС) у процесі формування, що дозволить максимальною мірою використати деформаційні властивості матеріалів. Виходячи з цього, робочим

середовищем, яке забезпечує вище зазначену умову, є рідина (вода).

Формулювання мети статті

Метою експериментальних досліджень формування суцільнокрійних деталей об'ємної форми гідровідцентровим способом у РАРС з текстильних матеріалів є визначення впливу вхідних факторів на якість формування та отримання математичної моделі, яка адекватно описує даний досліджуваний процес.

Виклад основного матеріалу досліджень

Для розробки нової гідротехнології формування запропоновано використовувати гідровідцентровий спосіб формування. Відрізняється він від попередніх за характером формувального зусилля та його природою.

Запропонований спосіб базується на основних функціях, які виконує вода як робоче середовище. Вода є робочим середовищем, яке виконує роль силового поля, що в свою чергу забезпечує певну ступінь вологовмісту і цим самим пластифікує і покращує деформаційні властивості волокон, ниток і тканини в цілому.

Створення джерела динамічного навантаження формувального зусилля забезпечується за рахунок вхідних факторів та шляхом їх поєднання. Динамічне навантаження створюється при дії сталих параметрів тиску РАРС яке забезпечується швидкістю обертання барабана.

Застосування запропонованого виду формувального навантаження потребує експериментальних досліджень. В статті досліджується дія різного за величиною зусилля на костюмні та пальтові тканини.

Оскільки результати досліджень не дають повної картини наявних взаємозв'язків між вказаними параметрами та рівень їхнього комплексного впливу на процес формування. Саме тому подальші дослідження передбачають проведення багатфакторного експерименту, що дозволить оптимізувати процес гідродинамічного формування деталей головних уборів.

Слід зазначити, що на відміну попередніх досліджень процес гідровідцентрового формування відбувається в РАРС яким виступає вода. Отримані у результаті попередніх досліджень рівняння регресії, які характеризують залежність коефіцієнта формостійкості K від частоти обертання барабану n , об'єму РАРС V та часу формування t є не лінійними та не чітко вказують вагомість впливу параметрів на даний досліджуваний процес, тому проведено багатфакторний експеримент, який забезпечує всі можливі комбінації вхідних параметрів.

Для проведення багатфакторного експерименту зменшено кількість досліджуваних тканин. Порівнюючи вовняні пальтові тканини арт. 45206, 3550 та 3506 (100% вовна; 80% вовна та 20% нітрон), які мають однакове переплетення (4-ох ремісний сатин) обрано тканину арт. 3506, яка за результатами однофакторного експерименту має найкращий коефіцієнт формостійкості.

За результатами попередніх досліджень костюмних тканин арт. 451187, 55023 та 43423, можна зробити висновок що недоцільно досліджувати у багатфакторному експерименті тканину арт. 451187, оскільки вона має найгірший коефіцієнт формостійкості, за рахунок складної будови – 1,5 шарове переплетення на основі полотняного, найменше значення загальної пористості, найбільші показники поверхневого та об'ємного заповнення.

Отже, для дослідження процесу гідровідцентрового способу формування, робочим середовищем якого є РАРС, у рамках багатфакторного експерименту обрані матеріали: пальтова арт. 3506, костюмна арт. 43423, які відрізняються волокнистим складом (вовняна, напіввовняна та синтетична) та структурними характеристиками.

Для проведення багатфакторного експерименту було використано розрахункові матриці рототабельного плану другого порядку, п'ять рівнів варіювання параметрів (таблиці 1), які впливають на процес формування. Область значень вхідних параметрів були скореговані на основі попередніх досліджень та покладені в основу проведення багатфакторного експерименту.

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів, для дослідження пальтової арт. 3506 та костюмна арт. 43423

Рівні варіювання	Параметри процесу формування		
	частота обертання n, c^{-1} (x_1)	об'єм РАРС $V, л$ (x_2)	час формування t, c (x_3)
+1,68	13	19	150
+1	12	18	138
0	10,5	16,5	120
-1	9	15	102
-1,68	8	14	90
Інтервал	1,5	1,5	18

За результатами експериментальних даних досліджуваних тканин для визначення коефіцієнтів рівняння регресії, а також виведення рівняння регресії математичної моделі процесу гідровідцентрового формування за вказаними параметрами було використано спеціальну програму Planning experiment, що розроблена на платформі JaVa (Автор: Михайловський Ю. Б., ліцензія - вільне використання).

На основі експериментальних досліджень гідровідцентрового формування пальтової тканини арт. 3506 отримано рівняння регресії математичної моделі процесу у кодованій формі:

$$y=0,0601-0,0096x_1-0,0035x_2+0,0014x_3+0,0017x_1x_2-0,0094x_1x_3+0,0071x_2x_3+0,0053x_1^2-0,0030x_2^2+0,0188x_3^2 \quad (1)$$

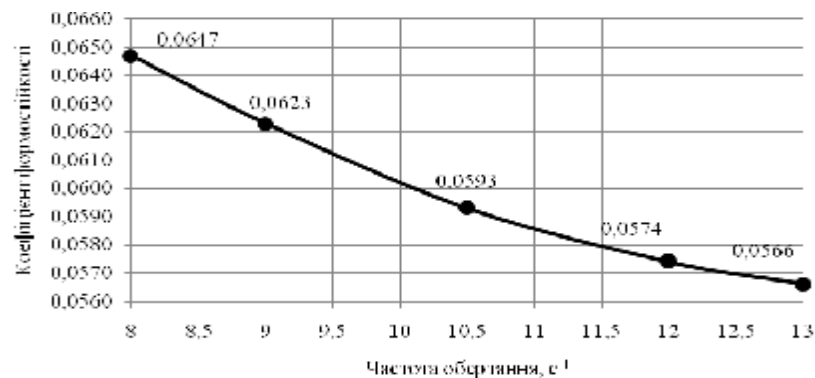
Рівняння регресії (1) отриманої математичної моделі вважається адекватним, оскільки виконується наступна умова:

$$F < F_{\text{табл.}} = 1,647 < 3,2 \quad (2)$$

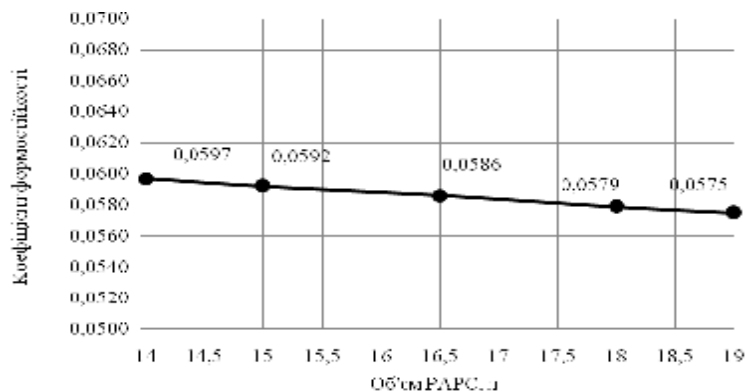
Відповідно до вагомості коефіцієнтів за критерієм Стюдента за умовою рівняння регресії (1) приймає наступний вигляд у натуральному вигляді (3):

$$K=148,274 \cdot 10^{-3} - 2,495 \cdot 10^{-3}n - 2,833 \cdot 10^{-3}V - 1,0174 \cdot 10^{-3}t - 0,0313 \cdot 10^3nt + 0,0237 \cdot 10^3Vt + 0,212 \cdot 10^{-3}n^2 + 0,0052 \cdot 10^{-3}t^2 \quad (3)$$

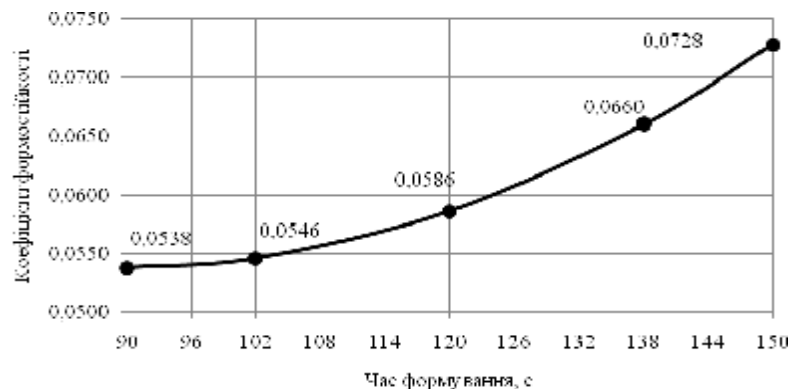
Для визначення вагомості параметрів процесу гідровідцентрового формування пальтової тканини арт. 3506 виконано підстановку значень факторів x_1, x_2, x_3 (+1,68; 0; -1,68) в рівняння регресії (1) при стабілізації двох факторів на нульовому рівні. На підставі цього побудовані однофакторні графічні залежності $K = f(x_i)$ (рис.1) та визначено вплив кожного з факторів на вихідну функцію, тобто на коефіцієнт формостійкості.



а



б



в

Рис. 1. Вплив факторів x_1, x_2, x_3 на показник $f(x_i)$

Аналіз отриманих результатів свідчить, що на показник коефіцієнта формостійкості K найбільший вплив чинить тривалість формування ($K=0,0538$). При цьому значення тривалості x_3 знаходиться на

мінімальному рівні -1,68. Наступним за вагомістю параметром є частота обертання, при максимальному значенні (+1,68) якого коефіцієнт формостійкості складає $K=0,0566$. Значення показника $K=0,0575$ досягається у випадку, коли об'єм РАРС знаходиться на максимальному рівні +1,68.

При дослідженні костюмної тканини арт. 43423 отримана математична модель процесу відцентрового формування за результатами багатфакторного експерименту:

$$y=0,094-0,0034x_1-0,0048x_2+0,0183x_3-0,0015x_1x_2+0,0062x_1x_3+0,0107x_2x_3+0,0049x_1^2-0,0026x_2^2+0,0205x_3^2 \quad (4)$$

Відповідно до вагомості коефіцієнтів за критерієм Стюдента рівняння регресії (4) приймає наступний вигляд у кодованому (5) та натуральному вигляді (6):

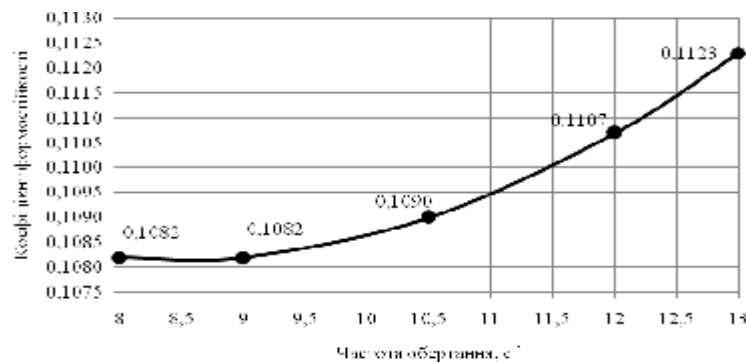
$$y=0,094-0,0048x_2+0,0183x_3+0,0062x_1x_3+0,0107x_2x_3+0,0049x_1^2+0,0205x_3^2 \quad (5)$$

$$K=194,3684 \cdot 10^{-3} - 4,99910 \cdot 10^{-3}n - 4,1793 \cdot 10^{-3}V - 1,34962 \cdot 10^{-3}t + 0,00207 \cdot 10^{-3}nt + 0,00357 \cdot 10^{-3}Vt + 0,0196 \cdot 10^{-3}n^2 + 0,0005694 \cdot 10^{-3}t^2 \quad (6)$$

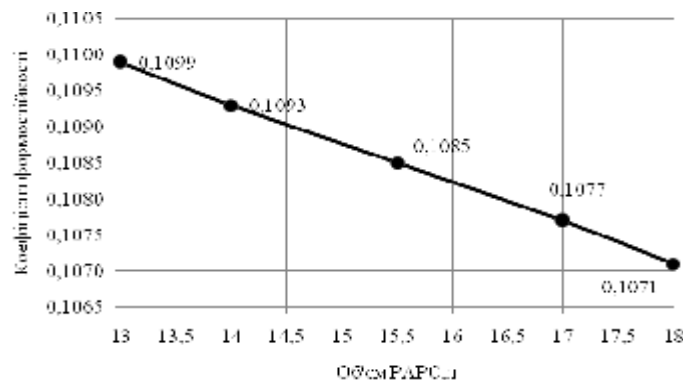
Адекватність отриманої математичної моделі перевірена за F-критерієм Фішера. Отже, отримана математична модель адекватна, оскільки виконується умова:

$$F < F_{\text{табл.}} = 1,754 < 3,2$$

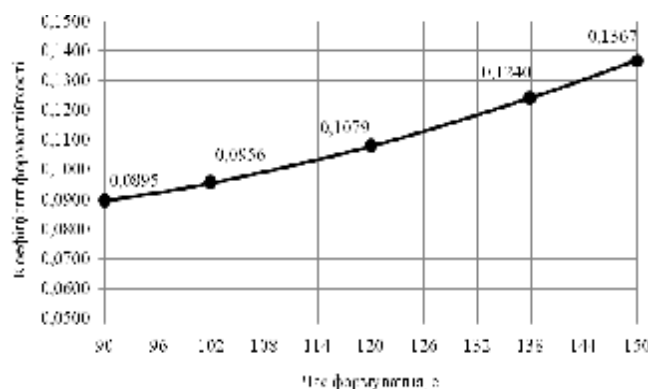
Таким чином для визначення вагомості параметрів процесу гідровідцентрового формування виконано підстановку значень факторів x_1, x_2, x_3 (+1,68; 0; -1,68) в рівняння регресії (4) при стабілізації двох факторів на нульовому рівні. На підставі цього побудовані однофакторні графічні залежності $K = f(x_i)$ (рис.2) та визначено вплив кожного з факторів на вихідну функцію, тобто на коефіцієнт формостійкості.



а



б



в

Рис. 2. Вплив факторів x_1, x_2, x_3 на показник $f(x_i)$

Аналіз отриманих результатів свідчить, що на показник коефіцієнта формостійкості K найбільший вплив чинить час формування ($K=0,0895$). При цьому значення тривалості x_3 знаходиться на мінімальному рівні $-1,68$. Наступним за вагомістю параметром є об'єм РАРС, при максимальному значенні $(+1,68)$ якого коефіцієнт формостійкості складає $K=0,1077$. Значення показника $K=0,1082$ досягається у випадку, коли частота обертання знаходиться на рівні -1 .

Висновок

Проведено багатофакторні експерименти, у результаті отримано математичні моделі другого порядку, які адекватно описують процес гідровідцентрового формування для досліджуваних тканин. Побудовані графічні залежності, що показують вплив кожного з факторів на якість процесу формування досліджуваним способом. Найбільший вплив здійснює час формування, менший вплив має частота обертання та об'єм РАРС.

Література

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Марков, Ю.В. Грановский. – М.: «Наука», 1976. – 278 с.
2. Пашаев Н.П. Оптимизация технологических процессов производства одежды по критериям качества и энергозатрат: Дис. ...канд. техн. наук: 05.19.04 / Н.П. Пашаев. – К., 1988. – 234 с.
3. Мирзоев Т.Г. Создание малооперационной технологии формования деталей одежды с интенсивным гигротермическим воздействием на материал. Автореф. Дис. ...к. т. н: 05.19.04 / Т.Г. Мирзоев. – К., 1993. – 24 с.
4. Шамхалов О.М. Исследования процесса формования деталей одежды при использовании центробежного эффекта : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.04 / Шамхалов Октай М. – К., 1977. – 117 с.

References

1. Adler U. P. Makarova E.V. Granovskiy U.V. Planirovanie eksperementa pri poiske optimalnux usloviy. – M.: "Nayka", 1976. – 278с.
2. Pashaev N.P. Optimizaciya tekhnologicheskikh processov proizvodstva odezhdy po kriteriyam kachestva I: Dis. .kand. tekhn. sciences: 05.19.04. is K., 1988. – 234 s.
3. Murzoev T.G. Sozdanie of malooperacionnoy tekhnologii of formovaniya details of odezhdy s intensivnym gigrotermicheskim vozdeystviyam on material. Atoref. Dis. .k. t. n: 05.19.04.-K.,1993.-24 s.
4. Shamxalov O. M. Isledovanie procesa formovaniya detaley odejdi pri ispolzovanii sentrobejnogo efekta : 05.19.04 /. Shamxalov O. M. – Kiiv, 1977. – 117 s

Рецензія/Peer review : 9.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Параска Г.Б.

УДК 621.396.6

Н.А. ФИЛИНЮК, Л.Б. ЛИЩИНСКАЯ, Е.В. ВОЙЦЕХОВСКАЯ, В.П. СТАХОВ

Винницкий национальный технический университет

МОНОИММИТАНСНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ RLC-ЭЛЕМЕНТЫ

Обоснованы принципы построения моноиммитансных логических RLC-элементов. Разработаны электрические принципиальные схемы и дана аналитическая оценка быстродействия и потребляемой мощности моноиммитансных логических R-элементов «НЕ», «ИЛИ», «И».

Ключевые слова: логический элемент, иммитанс, иммитансный логический уровень.

N. A. FILINYUK, L.B. LISHCHYNSKAYA, O.V. VOYCEKHOVSKA, V. P. STAKHOV

Vinnitsia National Technical University

MONOIMMITTANCE LOGIC R-ELEMENTS

Abstract - The aim of the work is development and researching of monoimittance logical RLC-elements.

The possibility of processing of the information on carrier frequency of a signal, without its transformation to video pulse signals can be solved with using of imittance logic elements. As information parameter in imittance logic elements uses combinations of resistive, inductive and capacitor imittance. Such logic elements are imittance elements. Absence of researches for their realization and estimation of parameters defines relevance of the presented work.

The general principles of monoimittance logic elements and the design of schemes monoimittance logic elements using the resistance to implement logic functions "NOT", "AND" and "OR" are presented in the given article.

Keywords: logic gate, imittance, imittance logic level.

Введение

Современная вычислительная техника использует для передачи и обработки информации видеоимпульсные сигналы [1]. Одновременно, но в значительно меньшей степени, для передачи и обработки информации находят применение оптические [2], акустические [3], гидравлические [4], радиочастотные [5] и другие сигналы. В этих специфических случаях выбор вида сигнала определяется или физической природой обрабатываемого параметра, или улучшением каких либо параметров информационной системы. Например, улучшение помехозащищенности или повышение быстродействия за счет использования оптических сигналов [2]. Проигрывая по большинству показателей системам, использующим видеоимпульсные сигналы, тем не менее такие специфические логические элементы находят применение в специализированных системах, не требующих обработки больших объемов информации и решающих, например, задачи обработки информации на несущей частоте сигнала, без преобразования ее в видеоимпульсные сигналы. Такие задачи могут быть решены с использованием радиочастотных иммитансных логических элементов [6]. В качестве информационного параметра в иммитансных логических элементах используются комбинации резистивного, индуктивного и ёмкостного иммитансов и их можно рассматривать, как мультииммитансные логические элементы. Для практического использования более предпочтительны логические элементы, использующие один информационный параметр, например, только активное сопротивление – (R-элемент), ёмкостной иммитанс – X_C (C-элемент) или индуктивный иммитанс – X_L (L-элемент). Назовём такие логические элементы моноиммитансными элементами. Отсутствие исследований по их реализации и оценке параметров определяет актуальность представленной работы.

Целью работы является разработка и исследование моноиммитансных логических RLC-элементов.

Задачи исследований:

1. Обоснование принципов построения моноиммитансных логических элементов;
2. Разработка схем моноиммитансных логических элементов.
3. Оценка основных параметров.

Обоснование принципов построения моноиммитансных логических элементов

Логический уровень видеоимпульсного логического элемента определяется диапазоном значений напряжений или токов. Кроме напряжения и тока, состояние электрической цепи на переменном токе можно охарактеризовать дифференциальным активным R , ёмкостным X_C и индуктивным X_L сопротивлениями. Следовательно, логические состояния схемы можно характеризовать диапазоном значений этих параметров. Например, логической единице – «1» соответствует диапазон изменения $R^{(1)} > R_0$, а логическому нулю – «0», соответствует диапазон изменения $R^{(0)} < R_0$ (моноиммитансный логический R-элемент), где R_0 – резистивная граница логического уровня. Аналогично: для ёмкостного сопротивления: «1» $\equiv X_C^{(1)} > X_{C0}$;

«0» $\equiv X_C^{(0)} < X_{C0}$ (моноиммитансный логический C-элемент); для индуктивного сопротивления:
«1» $\equiv X_L^{(1)} > X_{L0}$; «0» $\equiv X_L^{(0)} < X_{L0}$ (моноиммитансный логический L-элемент).

С учетом данных определений, таблицы истинности моноиммитансных логических элементов, реализующих основные логические функции, можно представить в виде таблиц истинности (рис. 1, 2 и 3):

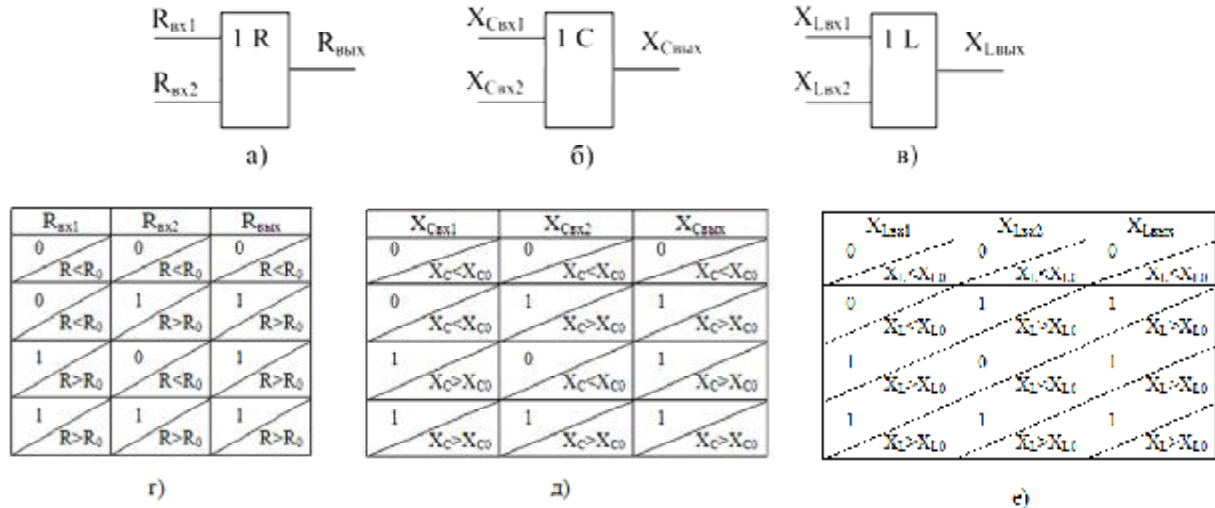


Рис. 1. Обозначение (а,б,в) и соответствующие таблицы истинности (г,д,е) моноиммитансных логических элементов "ИЛИ"

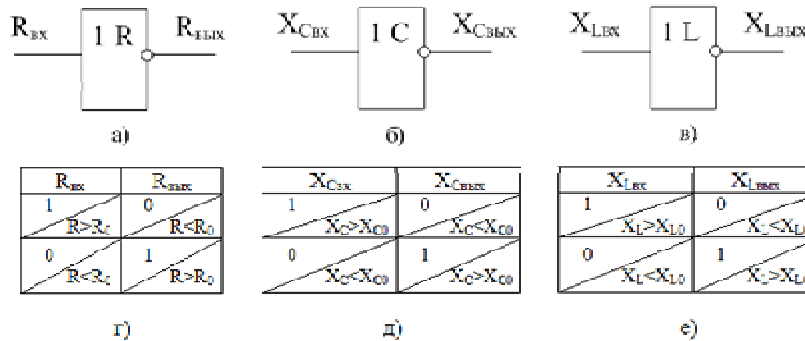


Рис. 2. Обозначение (а,б,в) и соответствующие таблицы истинности (г,д,е) моноиммитансных логических R-элементов "НЕ"

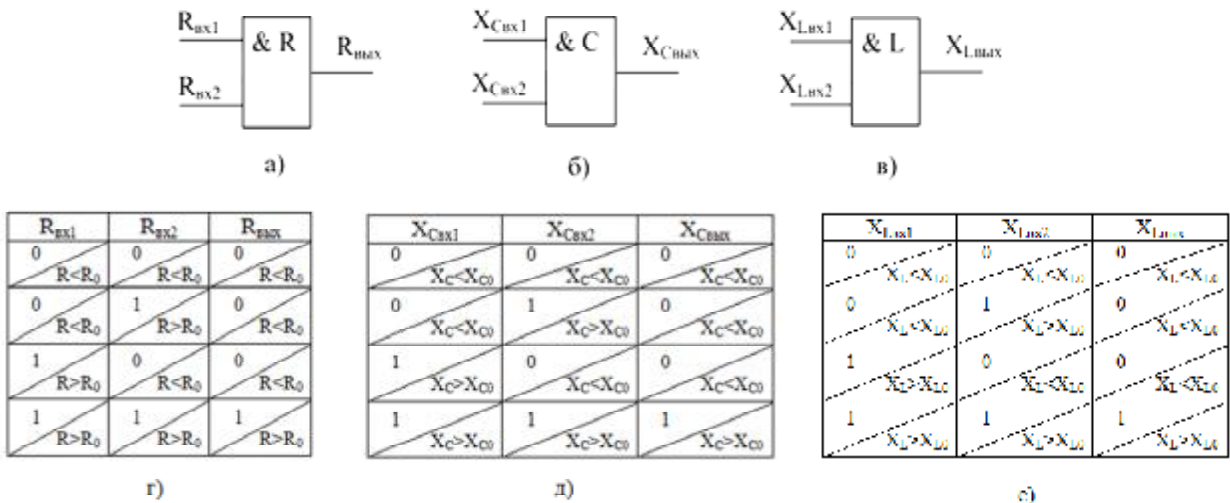


Рис. 3. Обозначение (а,б,в) и соответствующие таблицы истинности (г,д,е) моноиммитансных логических элементов "И"

Как и с видеоимпульсными логическими элементами, также возможно построение моноиммитансных логических R , L , C - элементов, реализующих «отрицательную логику»:
«1» $\equiv R^{(1)} < R_0$, «0» $\equiv R^{(0)} > R_0$, «1» $\equiv X_C^{(1)} < X_{C0}$, «0» $\equiv X_C^{(0)} > X_{C0}$, «1» $\equiv X_L^{(1)} < X_{L0}$, «0» $\equiv X_L^{(0)} > X_{L0}$.

Учитывая ограниченный объём статьи, на данном этапе ограничимся разработкой и исследованием только моноиммитансных R-элементов.

Разработка схем моноиммитансных логических R-элементов

В качестве простейшего моноиммитансного логического R-элемента «НЕ» возможно использование свойства четвертьволнового отрезка линии передачи, реализующего «четвертьволновый трансформатор» (рис. 4) [7].

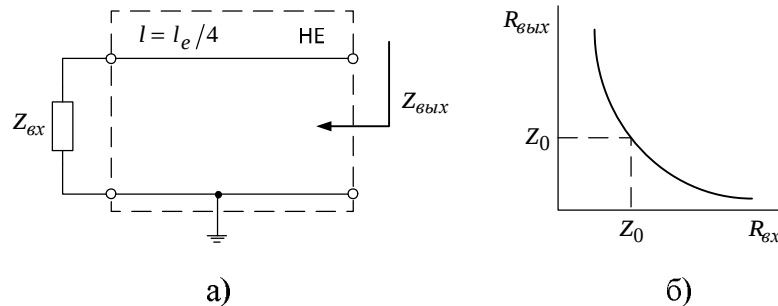


Рис. 4. "Четвертьволновый трансформатор" (а), реализующий моноиммитансный логический R-элемент "НЕ", и его передаточная характеристика (б)

Выходное сопротивление такого отрезка линии передачи зависит от сопротивления $Z_{\text{вх}}$, подключаемого на его входе:

$$Z_{\text{вых}} = Z_0^2 / Z_{\text{вх}}, \quad (1)$$

где Z_0 – волновое сопротивление линии передачи.

Если $Z_{\text{вх}} = R_{\text{вх}}$, тогда $Z_{\text{вых}} = R_{\text{вых}} = Z_0^2 / R_{\text{вх}}$. Считая, что Z_0 имеет действительное фиксированное значение, передаточная характеристика такого элемента имеет вид, представленный на рис. 4б. Из графика видно, что при $R_{\text{вх}} > Z_0$, $R_{\text{вых}} < Z_0$ и наоборот, что соответствует выше сформулированным условиям построения моноиммитансного логического R-элемента «НЕ».

Одним из возможных вариантов реализации моноиммитансного логического R-элемента «И» является схема, представленная на рис. 5.

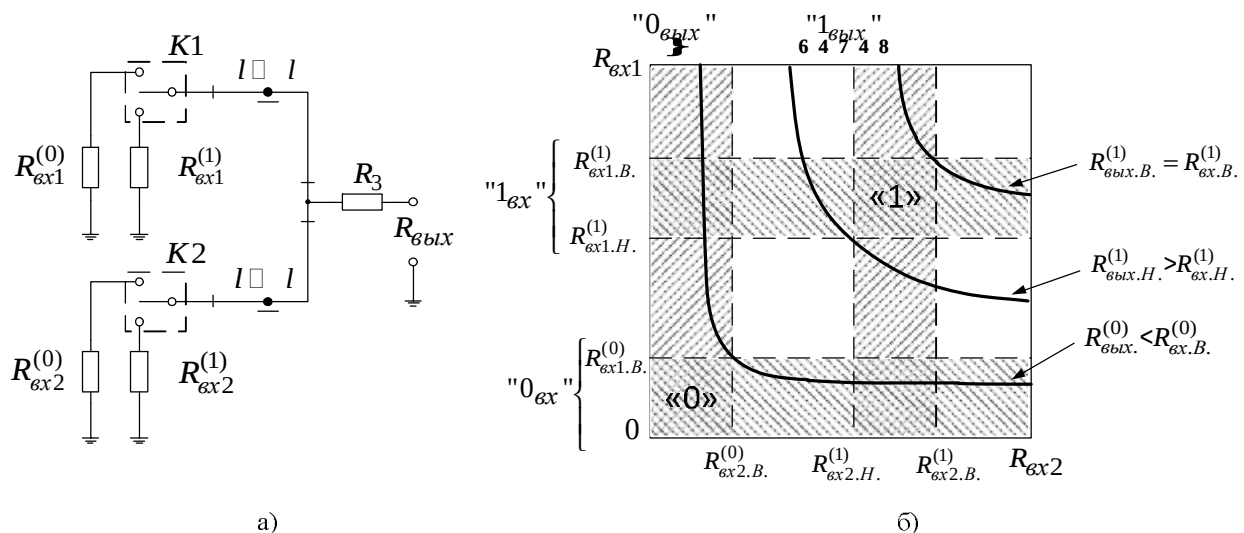


Рис. 5. Электрическая схема (а) и передаточная характеристика моноиммитансного логического R-элемента "И" (б) (на схеме K1 и K2 – условные коммутаторы)

Выходное активное сопротивление схемы при условии, что длина всех соединительных отрезков линии передачи $l \ll \lambda$, где λ – длина электромагнитной волны в линии передачи, равно

$$R_{\text{вых}} = R_3 + \frac{R_{\text{вх1}} R_{\text{вх2}}}{R_{\text{вх1}} + R_{\text{вх2}}}. \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает иммитансную передаточную характеристику схемы, представляющую в координатах $R_{\text{вх1}}$ и $R_{\text{вх2}}$ семейство равнобочных гипербол, положение которых может регулироваться величиной резистора R_3 .

Ограничим нулевой логический уровень диапазоном изменения входного сопротивления $(0 \div R_{\text{ex}}^{(0)})$, а единичный уровень – диапазоном $(R_{\text{ex}.H}^{(1)} \div R_{\text{ex}.B}^{(1)})$. Для обеспечения запаса схемы по помехоустойчивости, задаемся верхней границей нулевого логического уровня на выходе схемы из условия $R_{\text{вых}.B}^{(0)} < R_{\text{ex}.B}^{(0)}$. При этом нижняя граница этого уровня $R_{\text{вых}.H}^{(0)} = 0$. Исходя из требований помехоустойчивости границы единичного логического уровня на выходе схемы определяем из условий: $R_{\text{вых}.H}^{(1)} > R_{\text{ex}.H}^{(1)}$, $R_{\text{вых}.B}^{(1)} > R_{\text{ex}.B}^{(1)}$. С учётом введённых ограничений, области работы моноиммитансного логического R-элемента «И» определяются заштрихованными квадратами «0» и «1» на рис.5б, соответствующих таблице истинности, представленной на рис.3г.

Электрическая схема возможного варианта реализации моноиммитансного R-логического элемента «ИЛИ» представлено на рис.6а.

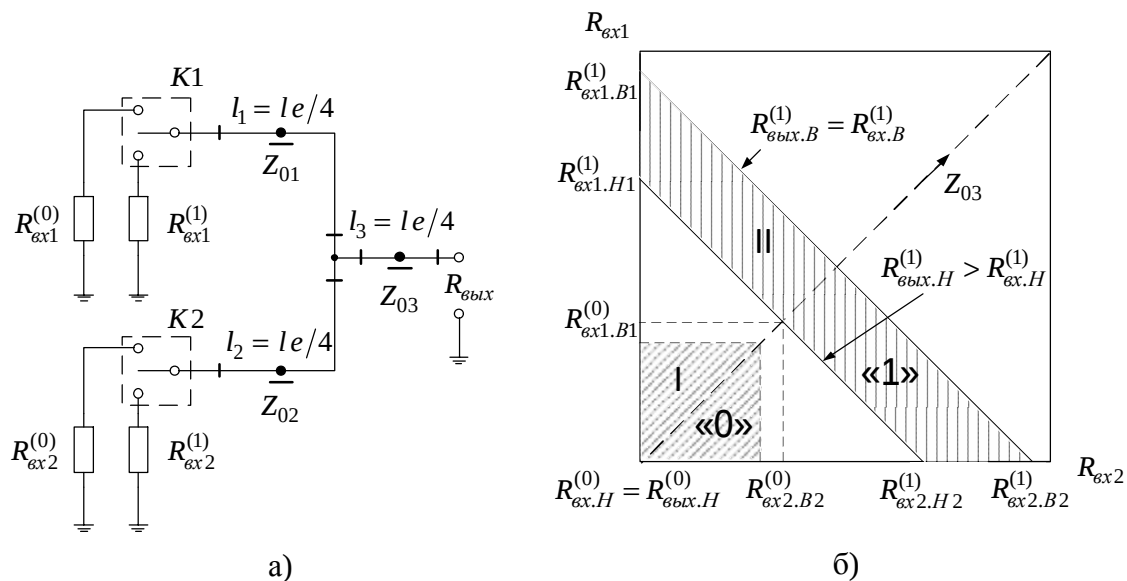


Рис. 6 - Электрическая схема (а) и иммитансная передаточная характеристика моноиммитансного R-логического элемента «ИЛИ» (б) (на схеме K1 и K2 - условные коммутаторы)

Рассчитаем иммитансную передаточную характеристику этого элемента. Учитывая трансформирующие свойства четвертьволновых отрезков линии передачи $l_1 - l_3$, имеющих соответственно волновые сопротивления $Z_{01} - Z_{03}$, находим

$$R_{\text{вых}} = \frac{Z_{03}^2 (Z_{01}^2 R_{\text{ex}2} + Z_{02}^2 R_{\text{ex}1})}{Z_{01}^2 Z_{02}^2}, \quad (3)$$

где Z_{01}, Z_{02}, Z_{03} – волновые сопротивления отрезков линии передачи l_1, l_2, l_3 соответственно.

Считая, что входные каналы логического элемента идентичны, т.е. $Z_{01} = Z_{02}$, из (3) находим

$$R_{\text{вых}} = \frac{Z_{03}^2 (R_{\text{ex}1} + R_{\text{ex}2})}{Z_{01}^2}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что иммитансная передаточная характеристика логического элемента на плоскости в координатах $R_{\text{ex}1}$ и $R_{\text{ex}2}$ представляет прямую линию (рис.6б) положение которой может регулироваться путем задания значений волновых сопротивлений Z_{01} и Z_{03} отрезков линии передачи.

Определим возможный диапазон изменения входных иммитансов, соответствующих логическим «нулю» и «единице». Как следует из рис.6б, если при $R_{\text{ex}1} = 0$, $R_{\text{вых}} = R_{\text{ex}2}$, тогда области, где обеспечивается выполнение условий таблицы истинности, будут соответственно для логического нуля на выходе – область «I», а для логической единицы – область «II». Для обеспечения запаса схемы по помехоустойчивости, необходимо ограничить диапазон изменения входных активных иммитансов условиями: $R_{\text{вых}.H}^{(1)} > R_{\text{ex}.H}^{(1)}$, $R_{\text{вых}.B}^{(1)} = R_{\text{ex}.B}^{(1)}$, $R_{\text{вых}.B}^{(0)} > R_{\text{ex}.B}^{(0)}$, $R_{\text{вых}.H}^{(0)} = R_{\text{ex}.H}^{(0)}$. Одним из возможных вариантов выполнения этих условий является выбор значений волновых сопротивлений Z_{01} и Z_{02} .

Оценка основных параметров

Важнейшими параметрами любого логического элемента являются его быстродействие и потребляемая мощность.

Быстродействие любого иммитансного логического элемента определяется задержкой установления иммитанса выхода логического элемента при изменении значения иммитанса цепи, подключенной к его входу. Для моноимпульсного иммитансного логического R-элемента «НЕ» эта задержка определяется временем прохождения электромагнитной волны от входа до выхода элемента и зависит от длины отрезка линии передачи l и скорости V электромагнитной волны в линии передачи.

$$t = l/V = \frac{l\sqrt{\epsilon m}}{c}, \quad (5)$$

где $V = c/\sqrt{\epsilon m}$ - скорость электромагнитной волны в линии передачи, c - скорость света в свободном пространстве, ϵ и m - соответственно относительные диэлектрическая и магнитная проницаемость диэлектрического материала, заполняющего линию передач между проводниками.

Для схемы моноиммитансного логического R-элемента «НЕ», представленного на рис.4, и реализуемого на основе микрополосковой линии с диэлектрическим заполнением, при $l = l/4$, $m = 1$ имеем:

$$t(HE) = \sqrt{\epsilon}/4f. \quad (6)$$

Например, при использовании в качестве диэлектрической подложки керамики с $\epsilon = 9$, на частоте 10 ГГц, имеем потенциальное значение времени задержки $t_1(HE) = 75$ пСек. При использовании воздушного диэлектрика имеем: $\epsilon = 1$, $t_2(HE) = 25$ пСек. Увеличение несущей частоты до 100 ГГц ведет к росту быстродействия моноиммитансного логического элемента, соответственно до $t'_1(HE) = 7,5$ пСек и $t'_2(HE) = 2,5$ пСек. Еще большее быстродействие можно достичь у моноиммитансного логического элемента «И», у которого длина отрезков линии передачи $l_1 \ll l$, $l_2 \ll l$. Потенциальное быстродействие моноиммитансного логического элемента «ИЛИ» (рис.6а), у которого длина отрезка линии передачи между входом и выходом равна $l = l_1 + l_3$, когда $l_1 = l_2$, составляет $t(ИЛИ) = \sqrt{\epsilon}/2f$, т.е. наблюдается двукратная задержка сигнала по сравнению с моноиммитансным логическим элементом «НЕ».

Вторым важнейшим параметром моноиммитансного логического элемента является величина потребляемой мощности. Учитывая, что рассматриваемые моноиммитансные логические элементы работают без использования постоянного источника питания ($P_0 = 0$), основные затраты энергии связаны с энергетическими потерями в отрезках линии передачи P_L или рассеянием сигнала P_R на омическом сопротивлении R_{gx} цепи, подключаемой ко входу моноиммитансного логического элемента. Вследствие малой длины используемых отрезков линии передачи и низком значении $tg\delta \leq 10^{-4}$ используемого диэлектрика подложки, потерями P_L в линии передачи можно пренебречь.

Мощность P_R сигнала рассеиваемая на сопротивлении R_{gx} зависит от мощности сигнала $P_{\sim}$ несущей частоты. Её минимальное значение $P_{\sim \min}$ должно быть больше мощности шумов, создаваемых омическим сопротивлением R_{gx} [8]:

$$P_{ш} = 4kT\Delta f, \quad (7)$$

где k - постоянная Больцмана, Δf - полоса рабочих частот, T - абсолютная температура.

Минимальная полоса рабочих частот определяется стабильностью частоты опорного генератора. Например, при относительной стабильности частоты генератора $\Delta f/f = 10^{-6}$ и несущей частоте 1 ГГц, рабочая полоса частот логического элемента равна 1 кГц. В этом случае $P_{ш} = 4 \cdot 290 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^3 = 1,6 \cdot 10^{-17}$ Вт. Откуда $P_{gx} > 1,6 \cdot 10^{-17}$ Вт. С учетом необходимости обеспечения коэффициента разветвления по выходу $K_{раз}$ мощность сигнала, потребляемая моноиммитансным логическим элементом, будет равна $P_{\sim \min} = 4kT\Delta f K_{раз}$.

Выводы

1. Обоснованы принципы построения моноиммитансных логических элементов, использующих в качестве информационного параметра значение иммитанса одного характера: или активное, или емкостное, или индуктивное сопротивление, что обеспечивает по сравнению с мультииммитансными RLC-логическими элементами более высокие энергетические характеристики, так как они могут работать без внешнего источника постоянного тока.

2. Проведена численная оценка быстродействия и потребляемой мощности пассивных моноиммитансных логических R-элементов, которая показала, что время переключения таких элементов определяется скоростью распространения электромагнитной волны в линии передачи, частотой и

геометрической длиной линий передачи. Потенциальная оценка задержки сигнала в моноиммитансном логическом R-элементе на частоте 10 ГГц равна 75 пСек и уменьшается с ростом частоты. Энергетические потери в рассмотренных элементах в основном определяются диссипативными потерями на активных сопротивлениях электрических цепей, подключаемых к входам моноиммитансных логических элементов. При использовании опорного генератора с относительной стабильностью частоты 10^{-6} на несущей частоте 1 ГГц величина потребляемой мощности моноиммитансного логического элемента $P_{\sim} > 1,6 \cdot 10^{-17}$ и растет пропорционально коэффициенту разветвления по выходу.

Литература

1. Бабич Н.П. Компьютерная схемотехника. Методы построения и проектирования: Учебное пособие. / И.А. Жуков, Н.П. Бабич – К., «МК-Пресс», 2004. – 576с., илл. - ISBN 966-96415-2-7.
2. Торчигин В.П. Оптические логические элементы на основе нелинейных интерференционных фильтров / В.П. Торчигин - Квант. электрон., т. 19, № 6, 1992. - с. 525 - 624.
3. Pierre A. Deymier Acoustic Metamaterials and Phononic Crystals / A. Pierre - Springer Science & Business Media, 2013. - 392p.
4. Кичак В.М. Радіочастотні та широтно-імпульсні елементи цифрової техніки: Монографія. / В.М. Кичак, О.О. Семенова – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 163с. - ISBN 978-966-641-259-4.
5. Ліщинська Л.Б. Імітансна логіка. / Л.Б. Ліщинська, М.А. Філінюк. – Міжн. науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”, №2(18), 2010. – с. 25-31.
6. Лепешкин А.В. Гидравлика и гидропневмопривод. В 2-х частях. Ч. 2: Гидравлические машины и гидропневмопривод: Учебник / А.В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак. — 4-е изд., доп. и перераб. – М.: МГИУ, 2009. — 352 с. — ISBN 978-5-276-01019-9.
7. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. - М.:Высшая Школа, т.1, 1970 - 439с.
8. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи: основы теории и принципы реализации. - М.: Наука, 2009. - 358 с. - ISBN 978-5-02-036943-6.

References

1. Babich N.P. Komp'yuternaya shemotekhnika. Metody postroeniya i proektirovaniya: Uchebnoe posobie. / I.A. Zhukov, N.P. Babich – K., «MK-Press», 2004. – 576s, ill. - ISBN 966-96415-2-7.
2. Torchigin V.P. Opticheskie logicheskie elementy na osnove nelineynyh interferentsionnyh fil'trov - Kvant. elektron., t. 19, № 6, 1992, s. 525 - 624.
3. Pierre A. Deymier Acoustic Metamaterials and Phononic Crystals / A. Pierre - Springer Science & Business Media, 2013. - 392p.
4. Kichak V.M. Radiochastotni ta shirotno-impul'sni elementi cifrovoi tehniki: Monografiya. / V.M. Kichak, O.O. Semenova – Vinnicya: UNIVERSUM-Vinnicya, 2008. – 163s. - ISBN 978-966-641-259-4.
5. Lischins'ka L.B. Imitatsna logika. / L.B. Lischins'ka, M.A. Filinyuk. – Mizhn. naukovu-tehnichniy zhurnal “Informatsiyni tehnologii ta komp'yuterna inzheneriya”, №2(18), 2010. – s. 25-31.
6. Lepeshkin A.V. Gidravlika i gidropnevmoпривод. V 2-h chastyah. Ch. 2: Gidravlicheskie mashiny i gidropnevmoпривод: Uchebnik / A.V. Lepeshkin, A. A. Mihaylin, A. A. Sheypak. — 4-e izd., dop. i pererab. – M.: MGIU, 2009. — 352 s. — ISBN 978-5-276-01019-9.
7. Lebedev I.V. Tehnika i pribory SVCh. - M.:Vysshaya Shkola, t.1, 1970 - 439s.
8. Borisov V.I. Pomehozaschishennost' sistem radiosvyazi: osnovy teorii i principy realizacii. - M.: Nauka, 2009. - 358 s. - ISBN 978-5-02-036943-6.

Рецензія/Peer review : 14.4.2015 р.

Надрукована/Printed : 13.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Перевозніков С.І.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ПРИ АДИТИВНО-МУЛЬТИПЛІКАТИВНИХ АСИМЕТРИЧНО-ЕКСЦЕСНИХ НЕГАУСОВИХ ЗАВАДАХ

Розроблені математичні моделі та нелінійні методи обробки випадкових величин для синтезу і аналізу поліноміальних алгоритмів виявлення сигналів на фоні адитивно-мультиплікативних асиметрично-ексцесних негаусових завад при моментно-кумулянтному описі випадкових процесів з формуванням моментного критерію якості для забезпечення побудови ефективних методів і комп'ютерних засобів функціонування систем прийому та обробки даних.

Ключові слова: поліноміальні розв'язувальні правила, моментний критерій якості, адитивно-мультиплікативні негаусові завади.

V. V. PALAHIN

Cherkasy State Technological University

MODELING OF PROCESS SIGNAL DETECTION IN THE ADDITIVE-MULTIPLICATIVE ASYMMETRIC-KURTOSIS NON-GAUSSIAN NOISE

The paper is devoted to create and realization of process models signal detection on background additive-multiplicative non-Gaussian noise based on moment-cumulant description of random variables with the formation of moment quality criterion of testing statistical hypotheses and polynomial decision rules for synthesis effective methods and computer tools functioning of receiving systems and processing data.

Signal detection decision rules on a background additive-multiplicative asymmetric-kurtosis non-Gaussian noise at stochastic polynomial degree $s=3$ is synthesized.

Analysis of the results showed that with increasing stochastic polynomial degree and taking into account non-Gaussian distribution additive-multiplicative noise the value moment quality criterion is decreased. This corresponds to an increase of efficiency signal processing as reducing upper limits of error probability of the first and second kind of decision rules in comparison with well known results.

Keywords: polynomial decision rules, moment-quality criterion, moment and cumulant description of random variables, signals detection on background additive-multiplicative Non-Gaussian noise.

Вступ

Побудова, розвиток і функціонування багатьох систем спостереження, діагностики, моніторингу, контролю, управління в основному базуються на обробці випадкових процесів зі стандартним нормальним законом щільності розподілу, що не повною мірою адекватно відображає реальні процеси з прийнятним наближенням. Традиційно для вирішення задач виявлення та розрізнення сигналів застосовується теорія перевірки статистичних гіпотез, де як розв'язувальне правило (РП) використовується відношення правдоподібності, яке порівнюється з заданим порогом, значення якого залежить від обраного ймовірного критерію якості [1, 2]. Застосування такого підходу при використанні негаусових щільностей розподілу викликає серйозні труднощі, пов'язані з визначенням їх параметрів, складністю алгоритмічної та практичної реалізації [3].

Використання традиційного підходу до дослідження і розробки систем обробки випадкових негаусових процесів характеризується суттєвими обмеженнями, пов'язаними зі складністю їх алгоритмічної реалізації, зростанням обчислювальних ресурсів, що призводить до відповідних труднощів при створенні якісних програмно-алгоритмічних та апаратних засобів обробки сигналів. До того ж, необхідно враховувати, що функціонування багатьох систем прийому та обробки сигналів не завжди достатньо адекватно описується поширеними адитивними моделями взаємодії сигналів та завад, тобто існує необхідність застосування адитивно-мультиплікативних моделей. Зазначені особливості можуть суттєво ускладнювати застосування традиційних методів обробки сигналів, що ґрунтуються на використанні ймовірнісних критеріїв якості (критерій Байєса, максимальної правдоподібності, Неймана-Пірсона тощо), в яких для опису випадкових величин застосовуються щільності розподілу.

Аналіз розв'язання широкого кола задач прийому та обробки різноманітних випадкових сигналів свідчить про застосування кореляційних методів, пов'язаних з використанням кореляційного виявника або узгодженого фільтра (рис. 1), які за результатами обробки вектора вибірових значень $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ визначають достатню статистику $\Lambda(X)$ і отриманий результат порівнюється з порогом h для прийняття рішення про реалізацію відповідної гіпотези $H_i, i = 0, 1$.

Об'єктивно складний негаусовий характер сигналів і завад в реальних каналах зв'язку обумовлює те, що поширені кореляційні методи в багатьох випадках для широкого кола задач не дозволяють досягти необхідної точності. Незважаючи на відносну простоту реалізації кореляційного підходу для отримання алгоритмічного забезпечення функціонування систем прийому та обробки сигналів, на сучасному етапі недостатньо адекватно розв'язуються задачі, пов'язані з функціонуванням сучасних інформаційних

технологій для вирішення принципово більш складних задач [4].

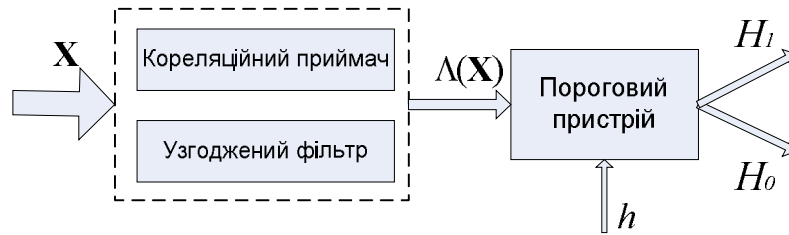


Рис. 1. Узагальнена структурна схема приймального пристрою

Найбільш повною моделлю взаємодії сигналів та завад є адитивно-мультиплікативна модель, яка характерна для багатьох практичних випадків проходження сигналів по каналах зв'язку. Адитивно-мультиплікативні завади виникають у випадках, коли параметри системи передачі або властивості середовища, в якому поширюються сигнали, зазнають випадкових змін в часі. Аналіз методів виявлення сигналів, що приймаються на фоні адитивно-мультиплікативних негаусових завад, показав необхідність застосування іншого підходу, який базується не на використанні щільності розподілу для опису випадкових величин, а на кінцевій послідовності моментів і кумулянтів [5, 6], що потребує розробки та дослідження нових моментних критеріїв якості перевірки статистичних гіпотез, поліноміальних РП та дозволяє підвищити точність методів і засобів обробки сигналів [7 - 9].

На підставі виконаного аналітичного огляду встановлено теоретичну значимість і прикладну необхідність проведення досліджень у напрямку математичного та комп'ютерного моделювання процесів виявлення сигналів на фоні адитивно-мультиплікативних негаусових асиметрично-ексцесних завад, як найбільш поширених, а також розробки методів їх реалізації при розв'язанні задач аналізу, синтезу, проектування, побудови і функціонування в системах спостереження, контролю, діагностики та управління.

Мета роботи полягає у створенні та реалізації моделей процесів виявлення сигналів на фоні адитивно-мультиплікативних негаусових завад на основі моментно-кумулянтного представлення випадкових величин з формуванням моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез та поліноміальних розв'язувальних правил для забезпечення побудови ефективних методів і комп'ютерних засобів функціонування систем прийому та обробки даних.

Постановка задачі

Нехай на вході системи спостерігається випадковий сигнал $x(t)$. Обробці підлягають вибірккові значення x_v з вибірки $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ розмірністю n із послідовності незалежних і однаково розподілених випадкових величин, за результатами якої необхідно винести рішення про виконання однієї з двох гіпотез: H_1 – прийнято сигнал $x(t) = (a_0 + \Delta(t))S(t) + h(t)$, та H_0 – прийнято заваду $x(t) = h(t)$, де $S(t)$ – корисний постійний сигнал, який має місце в післядетекторній обробці або при передачі дискретних даних, адитивно зв'язаний з негаусовою асиметрично-ексцесною стаціонарною завадою $h(t)$, що має нульове математичне сподівання, характеризується дисперсією C_2 та кумулянтними коефіцієнтами $g_3, g_4, \mathbf{K}, g_{2s}$, а також мультиплікативно зв'язаний з негаусовою асиметрично-ексцесною стаціонарною завадою $\Delta(t)$, що має відмінне від нуля математичне сподівання a_0 , характеризується дисперсією m_2 та кумулянтними коефіцієнтами $b_3, b_4, \mathbf{K}, b_{2s}$.

При заміні безперервного часу спостереження t на дискретні відліки v , здійсненні з сигналу та врахуванні стаціонарності адитивної та мультиплікативної складової завад, отримаємо їх дискретні значення для відповідних гіпотез:

$$H_1: x_v = (a_0 + \Delta_v)S_v + h_v,$$

$$H_0: x_v = h_v.$$

Розв'язувальне правило (РП) виявлення сигналів на фоні адитивно-мультиплікативних негаусових завад, побудоване за моментним критерієм мінімуму верхньої границі ймовірностей помилок [7], являє собою стохастичний степеневий поліном кінцевого порядку s [8]:

$$\Lambda(\mathbf{x})_{ns} = \sum_{i=1}^s k_i \sum_{v=1}^n x_v^i + k_0 \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0. \quad (1)$$

H_1
 H_0

де невідомі коефіцієнти k_0 задаються у вигляді:

$$k_0 = -\frac{1}{2}(E_{1(s)} + E_{0(s)}), \quad (2)$$

а коефіцієнти k_i знаходяться з умови мінімуму критерію верхньої границі ймовірностей помилок:

$$Ku_{sn}[G, E] = \frac{G_{1(s)} + G_{0(s)}}{(E_{1(s)} - E_{0(s)})^2}, \quad (3)$$

де $E_{i(s)}$, $G_{i(s)}$ – математичне сподівання й дисперсія РП (1), $i = \overline{0, 1}$, які залежать від кількості вибірових значень n , степені полінома s і мають вигляд:

$$E_{0(s)} = n \sum_{i=1}^s k_i u_i, \quad E_{1(s)} = n \sum_{i=1}^s k_i m_i. \quad (4)$$

$$G_{0(s)} = n \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s k_i k_j F_{i,j}(H_0), \quad G_{1(s)} = n \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s k_i k_j F_{i,j}(H_1). \quad (5)$$

де $F_{i,j}(H_0)$, $F_{i,j}(H_1)$ – центровані корелянти розмірності (i, j) при гіпотезах H_0 й H_1 відповідно, m_i , u_i – початкові моменти при гіпотезах H_1 та H_0 відповідно.

Система рівнянь для визначення невідомих коефіцієнтів k_i РП (1) знаходиться з мінімуму функціонала (3) і має вигляд:

$$\sum_{j=1}^s k_j [F_{i,j}(H_0) + F_{i,j}(H_1)] = m_i - u_i, \quad i = \overline{1, s}. \quad (6)$$

Для оцінки ефективності синтезованих РП використовується значення критерію $Ku_{sn}[G, E]$ (3). Чим менше його значення, тим менші ймовірності верхніх границь помилок першого й другого роду РП (1) і відповідно, ефективніші алгоритми обробки вибірових значень.

Використовуючи поліноміальні РП та моментно-кумулянтний опис випадкових величин, проведено моделювання процесів виявлення сигналів на фоні адитивно-мультиплікативних асиметрично-ексцесних негаусових завад при застосуванні стохастичних поліномів степені $s = \overline{1, 3}$ та здійснений аналіз їх ефективності.

Отримання основних результатів

Розглянемо задачу побудови поліноміальних РП для виявлення сигналів на фоні негаусових завад.

Апріорна інформація про постійний сигнал S , стаціонарні адитивну h та мультиплікативну Δ завади базується на використанні моментно-кумулянтного опису сигналів, що приймаються на фоні негаусових завад.

Моментно-кумулянтний опис випадкових величин X до шостого порядку при реалізації гіпотези H_0 має вигляд:

$$u_1 = 0, \quad u_2 = c_2, \quad u_3 = g_3 c_2^{3/2}, \quad u_4 = c_2^2 (3 + g_4), \quad u_5 = c_2^{5/2} (10g_3 + g_5), \\ u_6 = c_2^3 (10g_3^2 + 15g_4 + g_6 + 15).$$

де $\{g_3, g_5\}$ та $\{g_4, g_6\}$ – кумулянтні коефіцієнти адитивної негаусової завади h , які характеризують її асиметрію та ексцес відповідно.

Початкові моменти випадкових величин X при реалізації гіпотези H_1 матимуть вигляд:

$$m_1 = a_0 \sqrt{q} \sqrt{c_2}, \quad m_2 = c_2 (1 + a_0^2 q + q m_2), \\ m_3 = c_2^{3/2} (3a_0 \sqrt{q} + a_0^3 q^{3/2} + g_3 + 3a_0 q^{3/2} m_2 + q^{3/2} b_3 m_2^{3/2}), \\ m_4 = c_2^2 (3 + 6a^2 q + a^4 q^2 + 4a \sqrt{q} g_3 + g_4 + 6q m_2 + 6a^2 q^2 m_2 + 4a q^2 b_3 m_2^{3/2} + 3q^2 m_2^2 + q^2 b_4 m_2^2), \\ m_5 = \chi_2^{5/2} (15 \sqrt{q} a_0 + 10q^{3/2} a_0^3 + q^{5/2} a_0^5 + 10\gamma_3 + 10q a_0^2 \gamma_3 + 5 \sqrt{q} a_0 \gamma_4 + \gamma_5 + \\ + 30q^{3/2} a_0 \mu_2 + 10q^{5/2} a_0^3 \mu_2 + 10q \gamma_3 \mu_2 + 10q^{3/2} \beta_3 \mu_2^{3/2} + 10q^{5/2} a_0^2 \beta_3 \mu_2^{3/2} + \\ + 15q^{5/2} a_0 \mu_2^2 + 5q^{5/2} a_0 \beta_4 \mu_2^2 + 10q^{5/2} \beta_3 \mu_2^{5/2} + q^{5/2} \beta_5 \mu_2^{5/2}),$$

$$m_6 = \chi_2^3 (15 + 45qa_0^2 + 15q^2a_0^4 + q^3a_0^6 + 60\sqrt{q}a_0\gamma_3 + 20q^{3/2}a_0^3\gamma_3 + 10\gamma_3^2 + 15\gamma_4 + 15qa_0^2\gamma_4 + 6\sqrt{q}a_0\gamma_5 + \gamma_6 + 45q\mu_2 + 90q^2a_0^2\mu_2 + 15q^3a_0^4\mu_2 + 60q^{3/2}a_0 \times \gamma_3\mu_2 + 15q\gamma_4\mu_2 + 60q^2a_0\beta_3\mu_2^{3/2} + 20q^3a_0^3\beta_3\mu_2^{3/2} + 20q^{3/2}\beta_3\gamma_3\mu_2^{3/2} + 45q^2\mu_2^2 + 45q^3a_0^2\mu_2^2 + 15q^2\beta_4\mu_2^2 + 15q^3a_0^2\beta_4\mu_2^2 + 60q^3a_0\beta_3\mu_2^{5/2} + 6q^3a_0 \times \beta_5\mu_2^{5/2} + 15q^3\mu_2^3 + 10q^3\beta_3^2\mu_2^3 + 15q^3\beta_4\mu_2^3 + q^3\beta_6\mu_2^3),$$

де $q = \frac{S^2}{C_2}$ – відношення сигнал/шум по потужності.

Центровані корелянти $F_{i,j}(H_0)$, $F_{i,j}(H_1)$ визначаються згідно виразів:

$$F_{i,j}(H_0) = u_{i+j} - u_i u_j, \quad F_{i,j}(H_1) = m_{i+j} - m_i m_j, \quad i, j = \overline{1, n}$$

і для гіпотези H_0 мають вигляд:

$$F_{1,1}(H_0) = c_2, \quad F_{1,2}(H_0) = F_{2,1}(H_0) = g_3 c_2^{3/2}, \quad F_{2,2}(H_0) = c_2^2(2 + g_4), \\ F_{3,1}(H_0) = F_{1,3}(H_0) = c_2^2(g_4), \\ F_{3,2}(H_0) = F_{2,3}(H_0) = c_2^{5/2}(9g_3 + g_5), \quad F_{3,3}(H_0) = c_2^3(9g_3^2 + 15 + 15g_4 + g_6).$$

а для гіпотези H_1 запишуться як:

$$F_{1,1}(H_1) = c_2 + qm_2 c_2, \quad F_{1,2}(H_1) = F_{2,1}(H_1) = 2\sqrt{q}a_0 c_2^{3/2} + g_3 c_2^{3/2} + 2q^{3/2}a_0 m_2 c_2^{3/2} + q^{3/2}b_3 m_2^{3/2} c_2^{3/2}, \\ F_{1,3}(H_1) = F_{3,1}(H_1) = 3c_2^2 + 3qa_0^2 c_2^2 + 3\sqrt{q}a_0 g_3 c_2^2 + g_4 c_2^2 + 6qm_2 c_2^2 + 3q^2 a_0^2 m_2 c_2^2 + 3q^2 a_0 b_3 m_2^{3/2} c_2^2 + 3q^2 m_2^2 c_2^2 + q^2 b_4 m_2^2 c_2^2, \\ F_{2,2}(H_1) = 2c_2^2 + 4qa_0^2 c_2^2 + 4\sqrt{q}a_0 g_3 c_2^2 + g_4 c_2^2 + 4qm_2 c_2^2 + 4q^2 a_0^2 m_2 c_2^2 + 4q^2 a_0 b_3 m_2^{3/2} c_2^2 + 2q^2 m_2^2 c_2^2 + q^2 b_4 m_2^2 c_2^2, \\ F_{2,3}(H_1) = F_{3,2}(H_1) = 12\sqrt{q}a_0 \chi_2^{5/2} + 6q^{3/2}a_0^3 \chi_2^{5/2} + 9\gamma_3 \chi_2^{5/2} + 9qa_0^2 \gamma_3 \chi_2^{5/2} + 5\sqrt{q}a_0 \gamma_4 \chi_2^{5/2} + \gamma_5 \chi_2^{5/2} + 24q^{3/2}a_0 \mu_2 \chi_2^{5/2} + 6q^{5/2}a_0^3 \mu_2 \chi_2^{5/2} + 9q\gamma_3 \mu_2 \chi_2^{5/2} + 9q^{3/2}\beta_3 \mu_2^{3/2} \chi_2^{5/2} + 9q^{5/2}a_0^2 \beta_3 \mu_2^{3/2} \chi_2^{5/2} + 12q^{5/2}a_0 \mu_2^2 \chi_2^{5/2} + 5q^{5/2}a_0 \beta_4 \times \mu_2^2 \chi_2^{5/2} + 9q^{5/2}\beta_3 \mu_2^{5/2} \chi_2^{5/2} + q^{5/2}\beta_5 \mu_2^{5/2} \chi_2^{5/2}, \\ F_{3,3}(H_1) = 15\chi_2^3 + 36qa_0^2 \chi_2^3 + 9q^2 a_0^4 \chi_2^3 + 54\sqrt{q}a_0 \gamma_3 \chi_2^3 + 18q^{3/2}a_0^3 \gamma_3 \chi_2^3 + 9\gamma_3^2 \chi_2^3 + 15\gamma_4 \chi_2^3 + 15qa_0^2 \gamma_4 \chi_2^3 + 6\sqrt{q}a_0 \gamma_5 \chi_2^3 + \gamma_6 \chi_2^3 + 45q\mu_2 \chi_2^3 + 72q^2 a_0^2 \mu_2 \chi_2^3 + 9q^3 a_0^4 \mu_2 \chi_2^3 + 54q^{3/2}a_0 \gamma_3 \mu_2 \chi_2^3 + 15q\gamma_4 \mu_2 \chi_2^3 + 54q^2 a_0 \beta_3 \mu_2^{3/2} \chi_2^3 + 18q^3 a_0^3 \beta_3 \mu_2^{3/2} \chi_2^3 + 18q^{3/2}\beta_3 \gamma_3 \mu_2^{3/2} \chi_2^3 + 45q^2 \mu_2^2 \chi_2^3 + 36q^3 a_0^2 \mu_2^2 \chi_2^3 + 15q^2 \beta_4 \mu_2^2 \chi_2^3 + 15q^3 a_0^2 \beta_4 \mu_2^2 \chi_2^3 + 54q^3 a_0 \beta_3 \mu_2^{5/2} \chi_2^3 + 6q^3 a_0 \beta_5 \mu_2^{5/2} \chi_2^3 + 15q^3 \mu_2^3 \chi_2^3 + 9q^3 b_3^2 \mu_2^3 \chi_2^3 + 15q^3 \beta_4 \mu_2^3 \chi_2^3 + q^3 \beta_6 \mu_2^3 \chi_2^3.$$

Розглянемо побудову РП виявлення сигналів при різних значеннях степеня s стохастичного поліному (1).

Наведемо алгоритм синтезу РП при степені стохастичного полінома $s = 1$, яке в загальному випадку матиме вигляд:

$$\Lambda(X)_{H_1} = k_1 \sum_{n=1}^n x_n + k_0 \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_1 \\ H_0 \end{matrix} 0.$$

Невідомі коефіцієнти РП знаходяться згідно мінімуму моментного критерію якості (3), та враховуючи вирази (4, 5) для математичних сподівань та дисперсій РП при гіпотезах H_0 та H_1 :

$$E_{0(1n)} = 0, E_{1(1n)} = \frac{a_0^2 n q}{2 + q \mu_2}, G_{0(1n)} = \frac{a_0^2 n q}{(2 + q \mu_2)^2}, G_{1(1n)} = \frac{a_0^2 n q (1 + q \mu_2)}{(2 + q \mu_2)^2}$$

так вирази (2) і (6), набудуть кінцевого вигляду:

$$k_0 = -\frac{n q a_0^2}{2(2 + q \mu_2)}, k_1 = \frac{a_0 \sqrt{q}}{(2 + q \mu_2) \sqrt{\chi_2}}.$$

Таким чином, РП при $s = 1$ прийме лінійний вигляд:

$$\Lambda(X)_{1n} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v - \frac{a_0 S}{2} > 0. \quad (7)$$

H_1
 H_0

З критерію якості $Ku_{1n}[G, E]$ (3) видно, що верхня границя ймовірностей помилок першого й другого роду лінійного РП (7) має вигляд:

$$Ku_{1n} = \frac{2 + q \mu_2}{n q a_0^2} \quad (8)$$

З отриманого виразу (8) видно, значення критерію якості залежить як від відношення сигнал/шум q , так і від параметрів мультиплікативної складової. Окрім того, асимптотично при великих значеннях $n \rightarrow \infty$ значення критерію якості, а відповідно і верхні границі ймовірностей помилок першого і другого роду, прямують до нуля.

Отримане лінійне РП (7) не враховує негаусовість адитивних і мультиплікативних завад, що впливають на корисний сигнал, тому збільшимо степінь полінома до $s = 2$ та синтезуємо РП, для побудови якого необхідно використати початкові моменти до 4-го порядку. В цьому випадку враховуються кумулянтні коефіцієнти третього і четвертого порядку, а саме коефіцієнти асиметрії g_3 , b_3 і ексцесу g_4 , b_4 адитивної та мультиплікативної завади відповідно.

При степені стохастичного полінома $s = 2$ отримаємо РП, що в загальному випадку буде мати вигляд:

$$\Lambda(\mathbf{x})_{2n} = k_1 \sum_{n=1}^n x_n + k_2 \sum_{n=1}^n x_n^2 + k_0 > 0. \quad (9)$$

H_1
 H_0

Невідомі коефіцієнти РП (9) k_1 , k_2 знаходяться з системи рівнянь (6) та мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} k_1 = & \left[\sqrt{q} \left(-2\sqrt{q} \gamma_3 \mu_2 - q^2 \beta_3 \mu_2^{5/2} + 2q a_0^3 (1 + q \mu_2) + a_0^2 (2\sqrt{q} \gamma_3 + \right. \right. \\ & \left. \left. + 3q^2 \beta_3 \mu_2^{3/2}) + a_0 (4 + 2\gamma_4 + q \mu_2 (2 + q \beta_4 \mu_2)) \right) \right] \times 1 / \left[(8 - 4\gamma_3^2 + 4\gamma_4 + q(4a_0^2 + \right. \\ & \left. + 2(6 + 2qa_0^2 - 2\sqrt{q} a_0 \gamma_3 + \gamma_4) \mu_2 + 4\sqrt{q} \beta_3 (\sqrt{q} a_0 - \gamma_3) \mu_2^{3/2} + 2q(4 + \beta_4) \mu_2^2 + \right. \\ & \left. \left. + q^2 (2 - \beta_3^2 + \beta_4) \mu_2^3) \right) \sqrt{\chi_2} \right], \\ k_2 = & \left[q^2 a_0^2 \mu_2 - q \mu_2 (2 + q \mu_2) + a_0 (2\sqrt{q} \gamma_3 + q^2 \beta_3 \mu_2^{3/2}) \right] \times 1 / \left[-4(2 + qa_0^2 - \right. \\ & \left. - \gamma_3^2 + \gamma_4) - 2q(6 + 2qa_0^2 - 2\sqrt{q} a_0 \gamma_3 + \gamma_4) \mu_2 + 4q^{3/2} \beta_3 (-\sqrt{q} a_0 + \gamma_3) \mu_2^{3/2} - \right. \\ & \left. - 2q^2 (4 + \beta_4) \mu_2^2 + q^3 (-2 + \beta_3^2 - \beta_4) \mu_2^3 \right) \chi_2 \right], \\ k_0 = & \left[2nq^3 a_0^3 \beta_3 \mu_2^{3/2} + nq^2 a_0^4 (2 + q \mu_2) + nq \mu_2 (2 + q \mu_2)^2 - 2n\sqrt{q} a_0 (1 + q \mu_2) \times \right. \\ & \left. \times (2\gamma_3 + q^{3/2} \beta_3 \mu_2^{3/2}) + nqa_0^2 (4 + 2\gamma_4 + q \mu_2 (2 + q \beta_4 \mu_2)) \right] \times 1 / \left[-8(2 + qa_0^2 - \right. \\ & \left. - \gamma_3^2 + \gamma_4) - 4q(6 + 2qa_0^2 - 2\sqrt{q} a_0 \gamma_3 + \gamma_4) \mu_2 + 8q^{3/2} \beta_3 (-\sqrt{q} a_0 + \gamma_3) \mu_2^{3/2} - \right. \\ & \left. - 4q^2 (4 + \beta_4) \mu_2^2 + 2q^3 (-2 + \beta_3^2 - \beta_4) \mu_2^3 \right]. \end{aligned}$$

Математичні сподівання та дисперсії РП при гіпотезах H_0 та H_1 , знаходяться з виразів (4) і (5) відповідно, та мають вигляд:

$$E_{0(2n)} = nk_2 c_2, \quad E_{1(2n)} = n \left[k_1 a_0 \sqrt{q} \sqrt{c_2} + k_2 c_2 (1 + a_0^2 q + q m_2) \right].$$

$$G_{0(2n)} = n \left[k_1^2 c_2 + 2k_1 k_2 g_3 c_2^{3/2} + k_2^2 (2c_2^2 + g_4 c_2^2) \right]$$

$$G_{1(2n)} = n \left[k_1^2 (c_2 + q m_2 c_2) + 2k_1 k_2 (2\sqrt{q} a_0 c_2^{3/2} + g_3 c_2^{3/2} + 2q^{3/2} a_0 m_2 c_2^{3/2} + \right.$$

$$+ q^{3/2} b_3 m_2^{3/2} c_2^{3/2}) + k_2^2 (2c_2^2 + 4q a_0^2 c_2^2 + 4\sqrt{q} a_0 g_3 c_2^2 + g_4 c_2^2 + 4q m_2 c_2^2 +$$

$$\left. + 4q^2 a_0^2 m_2 c_2^2 + 4q^2 a_0 b_3 m_2^{3/2} c_2^2 + 2q^2 m_2^2 c_2^2 + q^2 b_4 m_2^2 c_2^2) \right].$$

Значення критерію $Ku_{2n}[G, E]$ знаходиться з виразу (3) та має вигляд:

$$Ku_{2n} = \left[8 - 4\gamma_3^2 + 4\gamma_4 + q\mu_2^{3/2} (4a_0^2 + 2(6 + 2qa_0^2 - 2\sqrt{q}a_0\gamma_3 + \gamma_4)\mu_2 + 4\sqrt{q}\beta_3 \times \right. \quad (10)$$

$$\times (\sqrt{q}a_0 - \gamma_3)\mu_2^{3/2} + 2q(4 + \beta_4)\mu_2^2 + q^2(2 - \beta_3^2 + \beta_4)\mu_2^3) \Big] \times$$

$$\times 1 / \left[nq(2q^2 a_0^3 \beta_3 \mu_2^{3/2} + qa_0^4(2 + q\mu_2) + q\mu_2^2(2 + q\mu_2) - 2a_0 \times \right.$$

$$\left. \times (2\sqrt{q}\gamma_3\mu_2 + q^2\beta_3\mu_2^{5/2}) + a_0^2(4 + 2\gamma_4 + q\mu_2(4 + q\beta_4\mu_2)) \right].$$

При проведенні дослідження впливу коефіцієнтів асиметрії та ексцесу адитивної та мультиплікативної складової завади на значення критерію якості $Ku_{2n}[G, E]$ необхідно враховувати області допустимих значень (ОДЗ) [5, 6], які мають вигляд

$$g_3^2 \leq g_4 + 2.$$

Аналогічна залежність буде і між коефіцієнтами асиметрії b_3 та ексцесу b_4 мультиплікативної завади.

Аналізуючи вираз (10), можемо сказати, що значення критерію Ku_{2n} залежить не лише від відношення сигнал/шум q та параметрів мультиплікативної завади, але й від значень кумулянтних коефіцієнтів третього і четвертого порядків адитивної та мультиплікативної складової завад.

Користуючись вище наведеним підходом проведено синтез нелінійних РП при степені поліному $s = 3$, де використовувалися початкові моменти до 6-го порядку. Для проведення дослідження вважалося, що кумулянтні коефіцієнти 5-го та 6-го порядків дорівнювалися нуля, тоді ОДЗ для кумулянтних коефіцієнтів 3-го та 4-го порядків мають вигляд [5, 6]:

$$4 - 8g_3^2 - 3g_3^4 + 8g_4 + \frac{7}{3}g_4^2 - \frac{1}{3}g_4^3 + 4g_3^2g_4 > 0.$$

Проведемо аналіз отриманих лінійних і нелінійних РП, які враховують різну апіорну інформацію про параметри розподілу негаусової завади.

Аналіз результатів

Ефективність отриманих РП виявлення сигналів оцінюється відношенням значень критеріїв якості Ku_{sn}/Ku_{1n} при різних степенях стохастичних поліномів в якості РП. Аналіз ефективності проводився для багатьох можливих комбінацій типів і видів адитивної і мультиплікативної завад. На рисунках 2-3 наведені результати порівняння ефективності лінійних (7) та нелінійних РП (9) для негаусової асиметрично-ексцесної адитивної складової завади, яка характеризується коефіцієнтами асиметрії g_3 та ексцесу g_4 . При аналізі ефективності синтезованих РП видно, що з врахуванням коефіцієнта асиметрії g_3 та збільшенням степеня полінома РП до другого порядку значення критерію якості можуть бути меншими для нелінійного РП у порівнянні з лінійним РП, що відповідає зменшенню верхніх меж ймовірностей помилок при виявленні сигналів на фоні негаусових завад. Аналогічна тенденція спостерігається при збільшенні степені поліному РП до 3-го порядку при зменшенні ОДЗ кумулянтних коефіцієнтів.

На рисунку 4. наведені результати моделювання процесів виявлення сигналів на фоні негаусових завад на основі розроблених програмних засобів обробки сигналів в середовищі MatLab. Демонструються результати моделювання процесу виявлення постійного сигналу лінійним (а) і нелінійним (б) РП при адитивно-мультиплікативній моделі взаємодії з негаусовою завадою при використанні поліноміальних РП, які 'оптимальними за моментним критерієм якості. З графіків видно, що результати обробки лінійним РП (а) вибіркового значень сигналу при впливі негаусових завад характеризуються більш частими випадковими викидами і перевищеннями нульового порогу (на рис.4а виділені колами №1 та №2), що відповідає помилковим рішенням виявлення сигналу в порівнянні з результатами обробки нелінійним РП (б) при другій степені полінома.

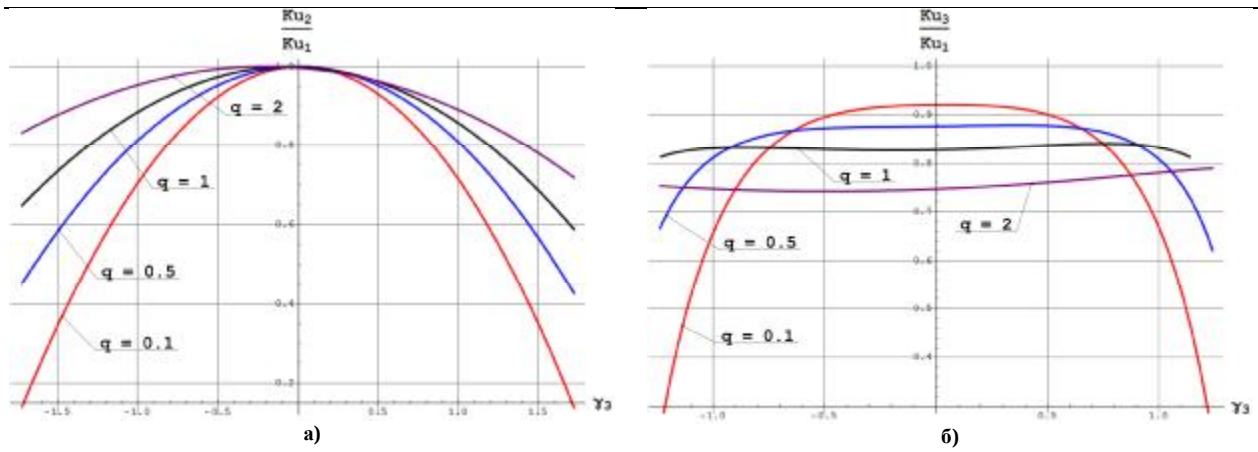


Рис. 2 – Залежність ефективності нелінійних РП (а - при $s = 2$, б - $s = 3$) виявлення сигналу по відношенню до лінійного РП ($s = 1$) від коефіцієнта асиметрії γ_3 при $a_0 = 2$, $\gamma_4 = 1$ та $m_2 = 0,1$.

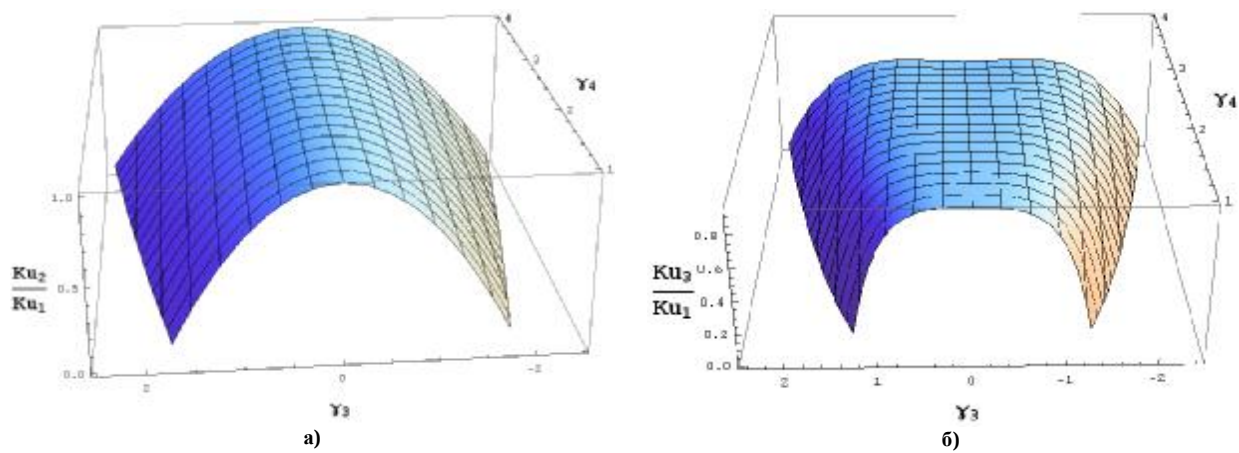


Рис. 3. Залежність ефективності нелінійних РП (а - при $s = 2$, б - $s = 3$) виявлення сигналу по відношенню до лінійного РП ($s = 1$) від коефіцієнтів асиметрії γ_3 та ексцесу g_4 при $a_0 = 2$, $m_2 = 0,1$ та $q = 0,1$.

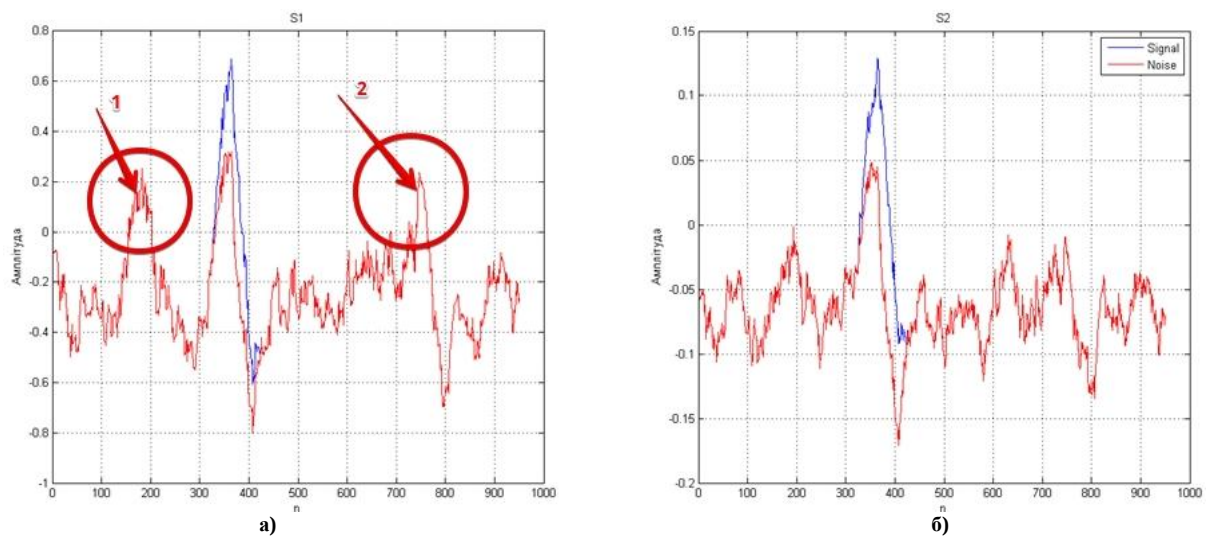


Рис. 4 – Результати експерименту по виявленню постійного сигналу лінійним а) і нелінійним б) РП при адитивно-мультимплікативній моделі взаємодії з негаусовою завадою при $q = 0.125$, $g_4 = 0.8$, $b_3 = 1.0$, $b_4 = 0.2$.

На рисунку 5 показані результати моделювання серії експериментів ($M = 100$) по виявленню постійного сигналу лінійним ($s = 1$, а) та нелінійним ($s = 2$, б) РП при адитивно-мультимплікативній взаємодії з негаусовою завадою.

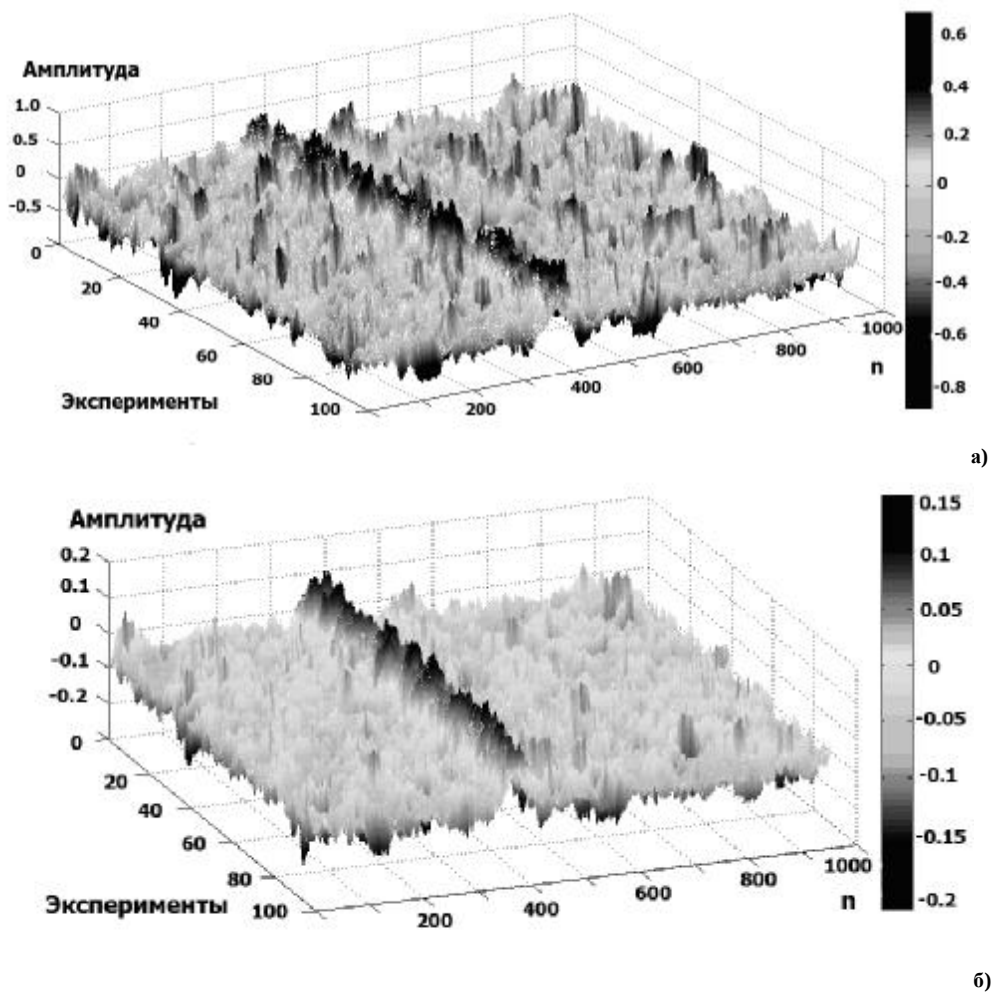


Рис. 5. Результати серії експериментів по виявленню постійного сигналу лінійним а) і нелінійним б) РП при адитивно-мультіплікативній моделі взаємодії з негаусовою завадою при $q = 0.1$, $g_4 = 0.8$, $b_3 = 1.0$, $b_4 = 0.2$

З графіків видно, що нелінійна обробка вибірових значень та врахування параметрів негаусового розподілу адитивно-мультіплікативної завади дозволяє зменшити випадкові викиди результату обробки вибірових значень, і як наслідок, збільшити ефективність виявлення сигналів в порівнянні з відомими лінійними результатами.

Висновок

Вдосконалення методів обробки сигналів потребують розробки та дослідження адекватних моделей досліджуваних процесів. В роботі розроблені математичні моделі негаусових випадкових процесів при адитивно-мультіплікативній взаємодії з корисним сигналом на основі застосування моментно-кумулянтного підходу до опису випадкових величин і степеневих перетворень вибірових значень, що дозволяє враховувати негаусовий розподіл випадкових даних у вигляді кумулянтних коефіцієнтів третього і вище порядків.

Розроблено методи виявлення сигналів при застосуванні поліноміальних стохастичних розв'язувальних правил, оптимальних за моментним критерієм якості, що дозволяє збільшити точність обробки сигналів у вигляді зменшення ймовірностей помилок першого і другого роду розв'язувальних правил у порівнянні з відомими результатами.

Отримані результати можуть знайти своє застосування в програмних реалізаціях високоточних пристроїв обробки сигналів на фоні складних заводових ситуаціях при проектуванні сучасних систем спостереження, діагностики, моніторингу, контролю, управління та ін.

Література

1. Van Trees H.L. Detection, Estimation, and Modulation Theory. – Part IV: Optimum Array Processing. John Wiley, 2002. — 1470 pp.
2. Tuzlukov V. P. Signal Processing Noise. – USA, Florida: CRC Press LLC, 2002. – 688 p.
3. Васильев К.К. Математическое моделирование систем связи: учебное пособие / К.К. Васильев, М.Н. Служивый. — Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 170 с.

4. Городецкий А.Я. Информационные системы. Вероятностные модели и статистические решения: учеб.пособие / А.Я. Городецкий. – СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003. — 326 с.
5. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ негауссовых процессов и их преобразований / А.Н. Малахов. – М.: Сов. Радио, 1978. – 376 с.
6. Kunchenko Y. Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables. —Germany, Aachen: Shaker Verlag, 2002. —396 p.
7. Кунченко Ю.П. Разработка нелинейных обнаружителей сигналов при негауссовых помехах, оптимальных по дисперсионным критериям. / Ю.П. Кунченко, В.В. Палагин, С.С. Мартыненко // Тр. 2-й междунар. конф. по радиосвязи, звуковому и телевиз. вещанию (УкрТелеком-95). – Одесса, 1995. – С. 440 – 443.
8. Палагин В.В. Адаптация моментного критерия качества для многоальтернативной проверки гипотез при использовании полиномиальных решающих правил / В.В. Палагин // Электронное моделирование. – 2010. – Т.32, №4. – С. 17 – 33.
9. Палагін В.В. Нелінійні алгоритми виявлення радіосигналів на тлі адитивно-мультіплікативних негаусівських завад / В.В. Палагін // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2012. – № 6/11(60). – С. 23-28.

References

1. Van Trees H.L. Detection, Estimation, and Modulation Theory. – Part IV: Optimum Array Processing. John Wiley, 2002. — 1470 pp.
2. Tuzlukov V. P. Signal Processing Noise. – USA, Florida: CRC Press LLC, 2002. – 688 p.
3. Vasilev K.K. Matematicheskoe modelirovanie sistem svyazi: uchebnoe posobie / K.K. Vasilev, M.N. Sluzhiviyi.- Ulyanovsk: UIGTU, 2008. — 170 s.
4. Gorodetskiy A.Ya. Informatsionnyie sistemyi. Veroyatnostnyie modeli i statisticheskie resheniya: ucheb.posobie / A.Ya. Gorodetskiy — SPb: Izd-vo SPbGPU, 2003. — 326 s.
5. Malahov A.N. Kumulyantnyiy analiz negaussovyih protsessov i ih preobrazovaniy. – М.: Sov. Radio, 1978. – 376 s.
6. Kunchenko Y. Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables. —Germany, Aachen: Shaker Verlag, 2002. —396 p.
7. Kunchenko Yu.P. Razrabotka nelineynyih obnaruzhiteley signalov pri negaussovyih pomehah, optimalnyih po dispersionnyih kriteriyam. / Kunchenko Yu.P., Palagin V.V., Martynenko S.S.// Tr. 2-y mezhdunar. konf. po radiosvyazi, zvukovomu i televiz. veschaniyu (UkrTelekom-95). – Odessa, 1995. – S. 440 – 443.
8. Palahin V.V. Adaptatsiya momentnogo kriteriya kachestva dlya mnogoalternativnoy proverki gipotez pri spolzovanii polinomialnyih reshayuschih pravil / Palagin V.V.// Elektronnoe modelirovanie – 2010. – Т.32, №4. – С. 17 – 33.
9. Palahin V.V. Nelineini alhorytmy vyivlennia radiosyhnaliv na tli adytyvno-mulytyplikatyvnykh nehausivskykh zavad / Palahin V.V. // Skhidnoievropeisky zhurnal peredovykh tekhnolohii. – 2012 # 6/11(60) - S.23-28.

Рецензія/Peer review : 18.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 13.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

НЕЙРОМЕРЕЖНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ПРОЕКТУ

Доведено залежність якості та успішності реалізації програмного проекту від специфікації вимог, актуальність та важливість вміння оцінити можливу успішність реалізації програмного проекту на основі специфікації. Вперше запропоновано нейронетний метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту, який полягає у прогнозуванні характеристик програмного проекту на основі аналізу показників специфікації, інтерпретації отриманих відносних значень характеристик програмного проекту за допомогою інтегративного показника проекту, оцінюванні ступеня успішності реалізації програмного проекту на основі інтегративного показника проекту. Запропонований метод відрізняється від відомих тим, що дозволяє прогнозувати успішність реалізації програмних проектів та порівнювати програмні проекти на основі специфікації вимог.

Ключові слова: специфікація вимог до ПЗ, показники специфікації вимог до ПЗ, програмний проект, якість програмного проекту, успішність реалізації програмного проекту, характеристики програмного проекту, вибір програмного проекту, метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту (МПХОУР), інтегративний показник програмного проекту, ступінь успішності реалізації програмного проекту.

A.V. KRASIY

Khmelnitskiy National University

NEURONET METHOD OF CHARACTERISTICS PREDICTION AND SOFTWARE PROJECT IMPLEMENTATION SUCCESS EVALUATION

Necessity to deepen the analysis of software requirements specification (SRS), dependence of quality and success of software project implementation from SRS, actuality and importance of skill to evaluate the possible success of software project based on SRS and the need to support the developer and customer in choosing the software project were proved. The neuronet method of characteristics prediction and software project implementation success evaluation was first proposed. It consists of next stages: neuronet prediction of characteristics of software project based on the analysis of specification, interpretation of the received relative values of the software project characteristics on the basis of integrative indicator of project, evaluation of the degree of success of the software project implementation based on the integrative indicator of project, testing of the stability and acceptability of compensations of characteristics of software project. This method differs from the known methods that provides the prediction of success of software projects implementation and comparison of software projects on the basis of SRS.

Keywords: software requirements specification (SRS), SRS indicators, software project, software project quality, success of software project implementation, software project characteristics, the choice of software project, method of characteristics prediction and software project implementation success evaluation, integrative indicator of software project, the degree of success of the software project implementation.

Вступ

Ключовим фактором забезпечення ефективного застосування програмного забезпечення (ПЗ) є ретельне оцінювання та досягнення високих значень показників якості.

Аналітичні дослідження та огляди, які виконували протягом кількох останніх років провідні зарубіжні аналітики, давали не дуже обнадійливі результати в галузі забезпечення якості програмних продуктів. За статистичними оцінками, наведеними у [1], більше 50 % від загальної кількості корпоративних програмних проектів не виправдовують очікувань, причому роботи над 42 % проектів припиняються задовго до їх логічного завершення. Дослідження Standish Group, в ході яких було проаналізовано роботу 364 американських софтверних корпорацій і підсумки виконання понад 23 тисяч проектів по розробленню ПЗ, показало, що проекти вартістю менше 750 тисяч доларів виявляються успішними у 55% випадків, вартістю - від 1 до 2 млн - у 18 %, вартістю від 5 до 10 мільйонів - всього у 7 % випадків [1]. Статистика успішності реалізації програмних проектів за 1994-2012 роки, за даними The Standish Group International (Chaos reports) [2], представлена на рисунку 1. Успішними вважаються проекти, які були виконані вчасно, в рамках бюджету, з необхідними можливостями та функціями; проблемними вважаються проекти, які мали перевитрати термінів, перевитрати або не мали необхідних можливостей та функцій; провальними (невдалим) вважаються проекти, які були скасовані до завершення, або були виконані, але ніколи не використовувались.

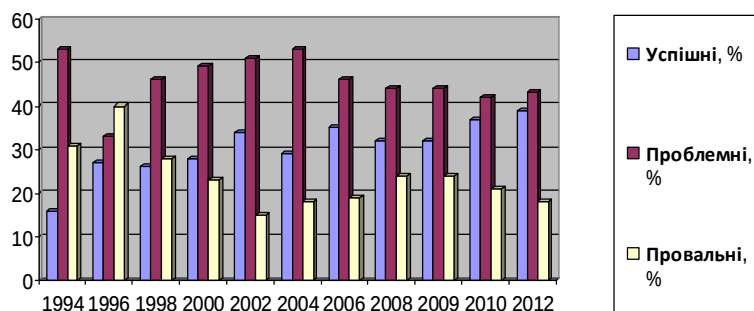


Рис. 1. Статистика успішності реалізації програмних проектів у 1994-2012 рр

Аналіз даних рис.1 дав можливість побачити приріст кількості успішних проектів та спад кількості провальних проектів у 2010-2012 роках, але в той же час частка проблемних проектів є досить сталою величиною у 2006-2012 роках і складає 42-46% проектів. Крім цього, на рис.1 можна побачити своєрідну періодичність (синусоїдальність) приростів та спадів кількостей для всіх груп проектів, тому не виключено, що в наступні роки може відбутись спад кількості успішних проектів і приріст кількості провальних проектів.

Статистика по перевитратах, перевищенню термінів та відсутності необхідної функціональності для проблемних програмних проектів у 2004-2012 роках, за даними The Standish Group International (CHAOS reports) 2013 року [2], представлена на рисунку 2.

Наведені статистичні дані фактично відображають досить високу частку неякісних програмних проектів – від 84% у 1994 році до 61% у 2012 році, оскільки не тільки провальні, але й проблемні програмні проекти не можуть вважатись якісними з точки зору стандартного трактування поняття якості ПЗ (як ступеня відповідності характеристик ПЗ вимогам [3-5]).

Велика кількість помилок ПЗ виникає на етапі формулювання вимог. Як показано у [1], помилки формулювання вимог складають 10-23% всіх помилок, причому чим більший обсяг ПЗ, тим більше помилок вноситься саме при формулюванні вимог. Аналіз помилок вбудованого та прикладного ПЗ, що призвели до відомих катастроф та інцидентів та були внесені на етапі формулювання вимог наведено у таблиці 1.

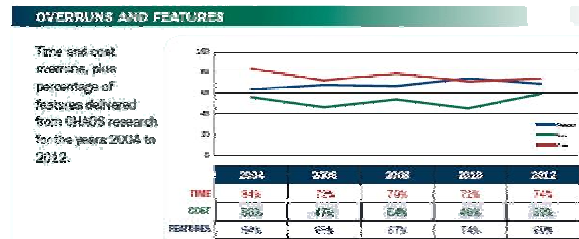


Рис. 2. Статистика по перевитратах, перевищенню термінів та відсутності необхідної функціональності для проблемних програмних проектів у 2004-2012 роках

Таблиця 1

Аналіз помилок етапу формулювання вимог вбудованого і прикладного ПЗ та їхніх наслідків

Подія	Причина	Наслідки
1	2	3
<i>Вбудоване ПЗ</i>		
У 1971 р. "Космос-419" не стартував до Марсу [6]	Невірність специфікації	Втрата апарату
У 1971 р. станція "Марс 2" не змогла відстикуватись від корабля [6]	Невірність специфікації	Невиконання завдання
1	2	3
Аварія гелікоптера Chinook у 1994 році [6]	Невірність специфікації	Загинуло 29 чоловік
"Смертельні" сеанси радіаційної терапії із застосуванням Therac-25 [7, 8]	Неповнота специфікації	6 пацієнтів одержали смертельну дозу опромінення
Вибух ракети-носія Ariane 5 у 1996 році [7, 8]	Протиріччя вимог	Вартість обладнання - 7,5 млрд. доларів, "упущена вигода" – 2 млрд. доларів
<i>Прикладне ПЗ</i>		
Падіння рейтингу на біржових торгах компанії Dow Jones Industrial Average (1987 р.) [7, 8]	Невірний розрахунок навантаження на ПЗ	Втрата 500 мільярдів доларів
Збій у системі Нью-Йоркського банку [9]	Недостатність пам'яті через невірні вимоги	32 млрд. доларів
Помилка у грі «Король Лев» компанії «Дісней» (1994 р.) [10]	Неповнота специфікації	Втрата репутації, значні фінансові втрати компанії
Помилка Y2K - помилка двоцифрового збереження року у даті (1999 р.) [7, 8]	Невірність або неповнота специфікації	Втрати - 500 млрд. доларів
У 1990 р. на AT&T відбулась 9-годинна аварія [8]	Проблеми з граничними умовами у специфікації	75 млн. нездійснених дзвінків, втрата 60 млн. доларів
У 1998 р. на AT&T відбулась 26-годинна аварія [7]	Проблеми з прихованими граничними умовами у специфікації	Непрацездатність служб, пов'язаних з передачею даних

В роботах [11-13] підтверджується факт, що причини майже всіх інцидентів та катастроф, пов'язаних з ПЗ, криються у специфікації вимог до програмного забезпечення, тобто переважна більшість

аварій, пов'язаних із ПЗ, виникли через помилкові вимоги, а не через помилки кодування. У [12] описано результати експерименту, проведеного для підтвердження або відкидання гіпотези про те, що збої та помилки ПЗ, написаного різними розробниками за однією специфікацією, статистично незалежні. Під час експерименту декілька незалежних груп розробників писали свою версію ПЗ за однією специфікацією. В результаті такого експерименту було встановлено, що версії ПЗ, написані різними розробниками за однаковими вимогами, містили ряд спільних помилок, пов'язаних із помилками або неточностями вимог (специфікації). Аналіз великої кількості програмних проектів, проведений у [14], також виявив, що головне місце виникнення помилок у ПЗ – це етап формулювання вимог (специфікація). Робота [15] основними причинами провалу програмних проектів називає невірні уявлення керівництва та менеджера проекту щодо реального часу та коштів, які необхідні для забезпечення функційних вимог користувача, тобто знову-таки підтверджує, що більшість проблем ПЗ пов'язана із проблемами специфікації.

Отже, при сучасному визначенні якості ПЗ [3-5] – якщо встановлені цілі проекту не відповідають потребам користувачів, то програмний продукт неможливо буде визнати якісним, навіть якщо при його розробленні були використані сучасні технології та були задіяні найкваліфікованіші розробники. Тоді якість та успішність реалізації програмного проекту залежать від специфікації вимог. Таке експериментальне свідчення безпосередньо призводить до необхідності поглиблення аналізу специфікації. Крім цього, проілюстроване на рисунку 2 зниження кількості проектів із відсутньою необхідною функціональністю при зростанні кількості проектів із перевищенням термінів та перевитратами також може відображати тенденцію, що софтверні організації поглиблюють аналіз та опрацювання вимог користувача за рахунок збільшення часу та коштів.

У презентації [16] є слайд, який показує, що частка вимог-фактів є суттєво меншою, ніж вимог – необґрунтованих припущень.

Тоді наразі *актуальним* і дуже важливим є аналіз специфікації вимог до ПЗ, вміння оцінити можливу успішність реалізації програмного проекту на основі специфікації, а також підтримка розробника та замовника при виборі програмного проекту з множини альтернативних програмних проектів (наразі розробник та замовник керуються при здійсненні такого вибору лише вартістю та тривалістю проекту, а також власною інтуїцією). Враховуючи вищевикладене, *метою даного дослідження* є прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту на основі аналізу специфікації вимог до ПЗ.

Визначення 1. Під *успішністю реалізації програмного проекту* надалі будемо розуміти вчасне виконання програмного проекту в рамках виділеного бюджету та з реалізацією всіх необхідних можливостей та функцій.

Успішність реалізації програмного проекту на етапі проектування можна ймовірно оцінити на основі прогнозованих значень основних характеристик програмного проекту [17] – тривалості проекту, вартості, складності, кросплатформності, зручності використання, якості. Аналіз зазначених характеристик [18, 19] зробив очевидним факт, що існуючі математичні інструменти та методи, а також автоматизовані засоби їх визначення не придатні для оцінки їх значень на етапі формулювання вимог, оскільки орієнтовані на готовий програмний код, а не на наявну специфікацію вимог до ПЗ.

Дослідження відомих методів (Using natural language processing technique, Using CASE analysis method, QAW-method, Using global analysis method, O'Brien's approach, Method to discover missing requirement elicitation, Selection of elicitation technique, Comparison and categorization of requirements elicitation techniques, Techniques for ranking and prioritization of software requirements) та автоматизованих засобів (OSRMT, Tools by LDRA, Sigma Software, DEVPRO, CASE.Analytics) аналізу специфікацій [18-22], призначених для роботи з вимогами та специфікаціями, показало, що всі вони спрямовані на контроль за реалізацією вимог, але жоден з них не визначає прогнозованих значень характеристик за специфікацією. Отже, існуючі методи і засоби аналізу специфікацій не прийнятні для кількісного оцінювання характеристик програмного проекту на основі аналізу специфікацій. Тоді для прогнозування успішності реалізації програмного проекту на основі аналізу специфікації слід вирішити *задачу* розроблення методу прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту на основі аналізу специфікації вимог.

Нейромережний метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту (МПХОУР)

Аналіз специфікації вимог до ПЗ [23, 24] показав, що вимоги специфікації дозволяють сформулювати множини показників, на основі яких замовник і розробник можуть отримати прогнозовані кількісні значення характеристик програмного проекту, що дозволяють отримати прогноз успішності реалізації даного програмного проекту: *R1* - множина показників розділу 1 специфікації вимог до ПЗ, *R2* - множина показників розділу 2, *R3* - множина показників розділу 3, *R4* - множина показників розділу 4 специфікації вимог до ПЗ. Показники специфікації, які входять до множин *R1–R4*, детально розглядаються у [25].

Тоді метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту на основі аналізу специфікації вимог складається з наступних етапів:

- 1) нейромережне прогнозування характеристик програмного проекту на основі аналізу специфікації;
- 2) інтерпретація отриманих відносних значень характеристик програмного проекту – критерієм для

такої інтерпретації є інтегративний показник проекту;

3) оцінювання ступеня успішності реалізації програмного проекту на основі інтегративного показника проекту;

4) перевірка стабільності та припустимості компенсаційних впливів характеристик програмного проекту.

Першим етапом МПХОУР є прогнозування характеристик програмного проекту на основі аналізу специфікації, що полягає в опрацюванні зазначених множин показників $R1-R4$ та у визначенні відносних значень основних характеристик програмного проекту: Cs – вартість програмного проекту, Dsp – тривалість, Cp – кросплатформність, Cx – складність, Ub – зручність використання, Qs – якість. Наразі відсутні функції (формули, залежності), за якими можна обчислити значення тієї чи іншої характеристики ПЗ на основі множини впливових показників специфікації – всі наявні формули та методики оцінювання характеристик ПЗ орієнтовані на готовий програмний код, а не на специфікацію вимог. Теорема Хехт-Нільсена доводить можливість розв’язку задачі представлення багатовимірної функції довільного вигляду на штучній нейронній мережі (ШНМ), тому для реалізації невідомих функцій залежності характеристик ПЗ від показників специфікації використовуватимемо саме ШНМ. У [26] доведено необхідність, математично описано та розроблено штучну нейронну мережу (ШНМ), яка опрацьовує множину показників специфікації, здійснює апроксимацію показників та надає прогнозовані кількісні значення характеристик ПЗ.

ШНМ прогнозування характеристик програмного проекту на основі аналізу специфікації навчена так, що всі значення характеристик належать інтервалу $(0;1]$, причому значення кожної характеристики, близьке до 0, негативно впливає на успішність реалізації програмного проекту (високі вартість, тривалість, складність; низькі якість, кросплатформність та зручність використання), а значення кожної характеристики, близьке до 1, позитивно впливає на успішність реалізації проекту (низькі вартість, тривалість, складність; високі якість, кросплатформність та зручність використання).

На основі отриманих з ШНМ відносних значень основних характеристик проекту як розробнику, так і замовнику складно комплексно оцінити успішність реалізації програмного проекту, оскільки складно вірно інтерпретувати одержані відносні значення характеристик, тому другим етапом МПХОУР є інтерпретація отриманих відносних значень характеристик програмного проекту. Для інтерпретації відносних значень характеристик введемо поняття інтегративного показника проекту.

Визначення 2. Інтегративний показник Ips_{Sp} програмного проекту Sp – це кількісний показник успішності реалізації програмного проекту на основі множини відносних значень прогнозованих характеристик проекту.

Для визначення впливу характеристик проекту на інтегративний показник проекту та взаємозв’язків між характеристиками відсутні формули та залежності. Тому припустимо, що всі шість зазначених характеристик мають однаковий вплив на успішність реалізації програмного проекту, а відтак і на інтегративний показник проекту. За відсутності формул та залежностей найбільш простим та очевидним способом визначення інтегративного показника проекту є використання його графічного представлення. Для отримання графічного представлення Ips_{Sp} створимо систему координат, яка має шість основних осей (для шести характеристик проекту) – рисунок 3.

Тоді інтегративний показник проекту – це площа фігури, сформованої прогнозованими відносними значеннями характеристик проекту. Оскільки ШНМ надає значення шести характеристик (Cs_{ANN} , Dsp_{ANN} , Cp_{ANN} , Cx_{ANN} , Ub_{ANN} , Qs_{ANN}), то інтегративний показник проекту – це площа шестикутника $Cs_{ANN} Cx_{ANN} Dsp_{ANN} Ub_{ANN} Cp_{ANN} Qs_{ANN}$, окресленого жирною лінією на рисунку 4.

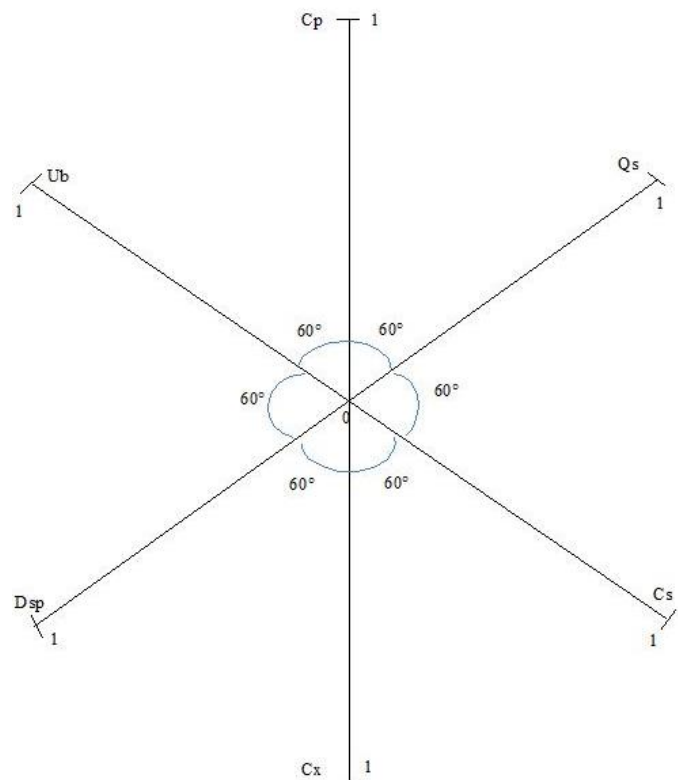


Рис. 3. Система координат для інтегративного показника Ips_{Sp} проекту

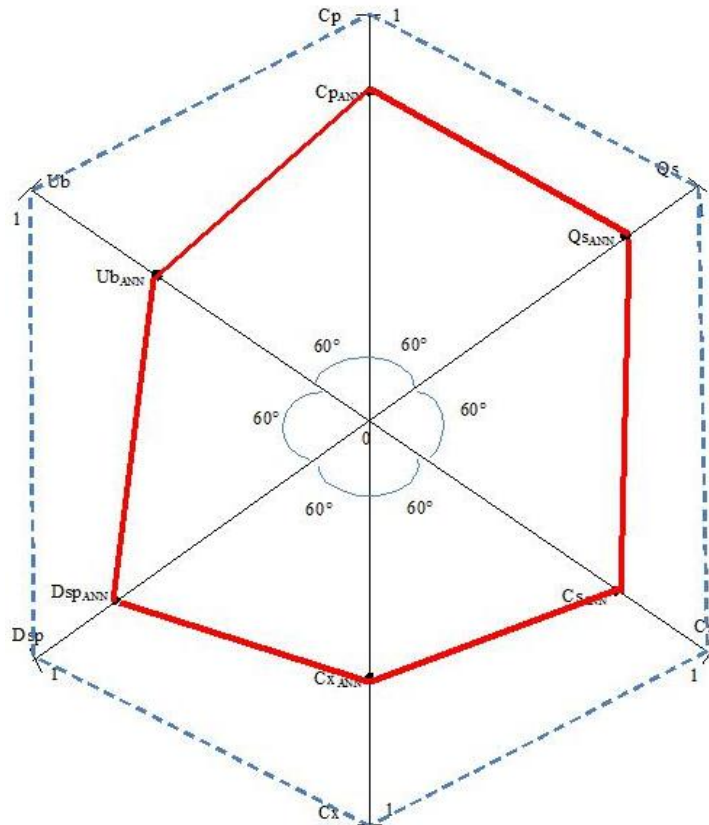


Рис.4 – Графічне представлення інтегративного показника Iip_{Sp} проекту та його максимального значення Iip_{max}

Для знаходження інтегративного показника Iip_{Sp} проекту розіб'ємо шестикутник на шість трикутників - $Cs_{ANN}OCx_{ANN}$, $Cx_{ANN}ODsp_{ANN}$, $Dsp_{ANN}OUb_{ANN}$, $Ub_{ANN}OCp_{ANN}$, $Cp_{ANN}OQs_{ANN}$, $Qs_{ANN}OCs_{ANN}$ і знайдемо площу для кожного з трикутників за двома відомими сторонами (значення характеристик) та кутом між ними (кут дорівнює 60° згідно побудованої системи координат), після чого додамо отримані площі трикутників:

$$S_{Cs_{ANN}OCx_{ANN}} = \frac{1}{2} \cdot Cs_{ANN} \cdot Cx_{ANN} \cdot \sin 60^\circ = 0.5 \cdot Cs_{ANN} \cdot Cx_{ANN} \cdot 0.866 = 0.433 \cdot Cs_{ANN} \cdot Cx_{ANN} \quad (1)$$

$$S_{Cx_{ANN}ODsp_{ANN}} = \frac{1}{2} \cdot Cx_{ANN} \cdot Dsp_{ANN} \cdot \sin 60^\circ = 0.433 \cdot Cx_{ANN} \cdot Dsp_{ANN} \quad (2)$$

$$S_{Dsp_{ANN}OUb_{ANN}} = \frac{1}{2} \cdot Dsp_{ANN} \cdot Ub_{ANN} \cdot \sin 60^\circ = 0.433 \cdot Dsp_{ANN} \cdot Ub_{ANN} \quad (3)$$

$$S_{Ub_{ANN}OCp_{ANN}} = \frac{1}{2} \cdot Ub_{ANN} \cdot Cp_{ANN} \cdot \sin 60^\circ = 0.433 \cdot Ub_{ANN} \cdot Cp_{ANN} \quad (4)$$

$$S_{Cp_{ANN}OQs_{ANN}} = \frac{1}{2} \cdot Cp_{ANN} \cdot Qs_{ANN} \cdot \sin 60^\circ = 0.433 \cdot Cp_{ANN} \cdot Qs_{ANN} \quad (5)$$

$$S_{Qs_{ANN}OCs_{ANN}} = \frac{1}{2} \cdot Qs_{ANN} \cdot Cs_{ANN} \cdot \sin 60^\circ = 0.433 \cdot Qs_{ANN} \cdot Cs_{ANN} \quad (6)$$

$$Iip_{Sp} = 0.433 \cdot (Cs_{ANN} \cdot Cx_{ANN} + Cx_{ANN} \cdot Dsp_{ANN} + Dsp_{ANN} \cdot Ub_{ANN} + Ub_{ANN} \cdot Cp_{ANN} + Cp_{ANN} \cdot Qs_{ANN} + Qs_{ANN} \cdot Cs_{ANN}) \quad (7)$$

Порядок осей шестикутника було обрано з врахуванням особливостей навчання ШНМ та з міркувань неможливості компенсації одних характеристик іншими (оскільки всі вищезазначені шість характеристик є рівно важливими для програмного проекту). З формули (7) видно, що при множенні значення однієї характеристики на значення іншої може відбуватись компенсація низького значення однієї характеристики високим значенням іншої характеристики. Тому верхня частина системи координат складається з трьох осей для характеристик Ub , Cp , Qs , а нижня частина складається з трьох осей для характеристик Cs , Cx , Dsp , для яких діє правило навчання ШНМ: значення характеристики, близьке до 0, означає високі вартість, тривалість, складність, низькі якість, кросплатформність та зручність використання. Стикування осей підібрано попарно саме так, тому що не повинна низька ціна програмного проекту ($Cs \rightarrow 1$) компенсувати його низьку якість ($Qs \rightarrow 0$), низька тривалість програмного проекту ($Dsp \rightarrow 1$) не може компенсувати його низьку зручність використання ($Ub \rightarrow 0$). Перевірка припустимості компенсацій характеристик здійснюватиметься на четвертому етапі методу, і саме такий порядок осей дозволить виявити

неприпустимі компенсації значень характеристик.

Для подальшої роботи знадобиться також максимальне значення інтегративного показника проекту: Iip_{max} - площа шестикутника $CsCx Dsp Ub Cp Qs$, окресленого пунктирною лінією на рисунку 4. ШНМ навчена так, що максимально можливе значення кожної характеристики – це 1. Тоді:

$$\begin{aligned} Iip_{max} &= 0.433 \cdot (Cs \cdot Cx + Cx \cdot Dsp + Dsp \cdot Ub + Ub \cdot Cp + Cp \cdot Qs + Qs \cdot Cs) = \\ &= 0.433 \cdot (1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1) = 2.598 \end{aligned} \quad (8)$$

Сам по собі інтегративний показник проекту є неінформативним для розробника та замовника через складність інтерпретації його значення, тому *третьім етапом МПХОУР* є оцінювання ступеня успішності реалізації програмного проекту. Інтегративний показник програмного проекту дає змогу визначити ступінь успішності реалізації програмного проекту. Значення $Iip_{max} = 2.598$ – це найкраще значення інтегративного показника проекту, тоді ступінь P_{Iip} успішності реалізації програмного проекту складає:

$$P_{Iip} = \frac{Iip_{Sp}}{Iip_{max}} = \frac{Iip_{Sp}}{2.598} = 0.385 \cdot Iip_{Sp} \quad (9)$$

Значення ступеня успішності реалізації програмного проекту, близьке до 0, показує низьку успішність реалізації програмного проекту (такий проект найімовірніше буде провальним), а значення ступеня успішності реалізації програмного проекту, близьке до 1, показує високу успішність реалізації програмного проекту, тобто проект з таким ступенем успішності буде успішним (оптимізаційна задача). Формалізація першого – третього етапів МПХОУР матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} < R1, R2, R3, R4 > \Rightarrow < Cs_{ANN}, Cx_{ANN}, Dsp_{ANN}, Ub_{ANN}, Cp_{ANN}, Qs_{ANN} > = f_1(< R1, R2, R3, R4 >) \Rightarrow \\ \Rightarrow Iip_{Sp} = f_2(< Cs_{ANN}, Cx_{ANN}, Dsp_{ANN}, Ub_{ANN}, Cp_{ANN}, Qs_{ANN} >) \Rightarrow P_{Iip} = f_3(Iip_{Sp}, Iip_{max}) \end{aligned} \quad (10)$$

де функція f_1 реалізується навченою штучною нейронною мережею, функція f_2 обчислюється за формулою (7), функція f_3 – за формулою (9); показник Iip_{max} обчислюється за формулою (8).

МПХОУР відрізняється від відомих тим, що дозволяє прогнозувати успішність реалізації програмних проектів, порівнювати програмні проекти комплексно за основними характеристиками та прогнозованим значенням ступеня успішності реалізації програмних проектів (а не тільки за вартістю та тривалістю, як відбувається наразі) та виконувати обґрунтований вибір програмного проекту розробником та замовником для подальшої реалізації. Звісно, помилки у ПЗ можуть бути внесені і на наступних етапах – під час проектування та програмування, але даний метод допомагає «відсікти» програмні проекти з невдалою специфікацією, оскільки, як доведено вище, програмні проекти з невдалими вимогами та специфікаціями не можуть мати успішної реалізації.

Як відомо, значення основних характеристик програмного проекту можуть коливатись в діапазоні (0;1]. Зрозуміло, що не завжди характеристики матимуть приблизно однакові значення. Тоді очевидно, що низькі значення одних характеристик можуть бути скомпенсовані високими значеннями інших характеристик при обчисленні інтегративного показника програмного проекту. Така компенсація значень характеристик при отриманні однакових значень інтегративного показника не завжди є коректною, оскільки всі вищезазначені шість характеристик є рівно важливими для програмного проекту, тому не повинні компенсуватись одна одною.

Тоді *четвертим етапом МПХОУР* є перевірка стабільності та припустимості компенсаційних впливів характеристик програмного проекту. Як було зазначено вище, інтегративний показник проекту – це площа виділеного суцільною жирною лінією шестикутника $Cs_{ANN} Cx_{ANN} Dsp_{ANN} Ub_{ANN} Cp_{ANN} Qs_{ANN}$. Якщо зазначений шестикутник буде випуклим, то характеристики програмного проекту вважатимуться стабільними, а їхні компенсаційні впливи – припустимими.

Введемо показник Ace_{Sp} стабільності та припустимості компенсаційних впливів характеристик, який прийматиме значення *True*, якщо шестикутник випуклий, тобто характеристики стабільні, їхні компенсаційні впливи припустимі, і значення *False*, якщо шестикутник не є випуклим (характеристики не стабільні).

Критерієм випуклості шестикутника, як відомо, є одночасне виконання двох умов: 1) однаковий знак синусів усіх кутів шестикутника; 2) сума всіх кутів випуклого шестикутника складає 720° (за теоремою про суму кутів випуклого багатокутника) – для перевірки, що шестикутник – не зірка (не пентаграма). Наведемо формули для визначення кутів шестикутника (за рис.4):

1) за теоремою косинусів обчислимо невідому третю сторону для кожного вищезазначеного трикутника:

$$CpQs^2 = Cp^2 + Qs^2 - 2 \cdot Cp \cdot Qs \cdot \cos 60^\circ \quad (11)$$

$$QsCs^2 = Qs^2 + Cs^2 - 2 \cdot Qs \cdot Cs \cdot \cos 60^\circ \quad (12)$$

$$CsCx^2 = Cs^2 + Cx^2 - 2 \cdot Cs \cdot Cx \cdot \cos 60^\circ \quad (13)$$

$$CpDsp^2 = Cx^2 + Dsp^2 - 2 \cdot Cx \cdot Dsp \cdot \cos 60^\circ \quad (14)$$

$$DspUb^2 = Dsp^2 + Ub^2 - 2 \cdot Dsp \cdot Ub \cdot \cos 60^\circ \quad (15)$$

$$UbCp^2 = Ub^2 + Cp^2 - 2 \cdot Ub \cdot Cp \cdot \cos 60^\circ \quad (16)$$

2) за теоремою косинусів знайдемо один з двох невідомих кутів у кожному трикутнику:

$$\angle(OQsCp) = \arccos\left(\frac{[Qs^2 + CpQs^2 - Cp^2]}{2 \cdot Qs \cdot CpQs}\right) \quad (17)$$

$$\angle(OCsQs) = \arccos\left(\frac{[Cs^2 + QsCs^2 - Qs^2]}{2 \cdot Cs \cdot QsCs}\right) \quad (18)$$

$$\angle(OCxCs) = \arccos\left(\frac{[Cx^2 + CsCx^2 - Cs^2]}{2 \cdot Cx \cdot CsCx}\right) \quad (19)$$

$$\angle(ODspCx) = \arccos\left(\frac{[Dsp^2 + CxDsp^2 - Cx^2]}{2 \cdot Dsp \cdot CxDsp}\right) \quad (20)$$

$$\angle(OUbDsp) = \arccos\left(\frac{[Ub^2 + DspUb^2 - Dsp^2]}{2 \cdot Ub \cdot DspUb}\right) \quad (21)$$

$$\angle(OCpUb) = \arccos\left(\frac{[Cp^2 + UbCp^2 - Ub^2]}{2 \cdot Cp \cdot UbCp}\right) \quad (22)$$

3) за теоремою про суму кутів трикутника знайдемо другий невідомий кут у кожному трикутнику:

$$\angle(OCpQs) = 180^\circ - 60^\circ - \angle(OQsCp) \quad (23)$$

$$\angle(OQsCs) = 180^\circ - 60^\circ - \angle(OCsQs) \quad (24)$$

$$\angle(OCsCx) = 180^\circ - 60^\circ - \angle(OCxCs) \quad (25)$$

$$\angle(OCxDsp) = 180^\circ - 60^\circ - \angle(ODspCx) \quad (26)$$

$$\angle(ODspUb) = 180^\circ - 60^\circ - \angle(OUbDsp) \quad (27)$$

$$\angle(OUbCp) = 180^\circ - 60^\circ - \angle(OCpUb) \quad (28)$$

4) знайдемо тепер кути шестикутника:

$$\angle(Qs) = \angle(OQsCp) + \angle(OQsCs) \quad (29)$$

$$\angle(Cs) = \angle(OCsQs) + \angle(OCsCx) \quad (30)$$

$$\angle(Cx) = \angle(OCxCs) + \angle(OCxDsp) \quad (31)$$

$$\angle(Dsp) = \angle(ODspCx) + \angle(ODspUb) \quad (32)$$

$$\angle(Ub) = \angle(OUbDsp) + \angle(OUbCp) \quad (33)$$

$$\angle(Cp) = \angle(OCpUb) + \angle(OCpQs) \quad (34)$$

Після знаходження кутів шестикутника слід знайти синуси кутів, отриманих за формулами (29)-(34), і порівняти їх знаки, а також знайти суму кутів, отриманих за формулами (29)-(34), і перевірити, чи дорівнює ця сума 720° . Якщо сума кутів дорівнює 720° , а синуси кутів мають однакові знаки, то шестикутник є випуклим, відповідно показник стабільності та припустимості компенсаційних впливів характеристик $Ace_{Sp} = True$ (характеристики програмного проекту є стабільними, а їх компенсаційні впливи – припустимими).

Висновки

У статті доводиться необхідність поглиблення аналізу специфікації, залежність якості та успішності реалізації програмного проекту від специфікації вимог, актуальність та важливість вміння оцінити можливу успішність реалізації програмного проекту на основі специфікації, а також необхідність підтримки розробника та замовника при виборі програмного проекту з множини альтернативних програмних проектів (наразі розробник та замовник керуються при здійсненні такого вибору лише вартістю та тривалістю проекту, а також власною інтуїцією).

Автором вперше запропоновано нейромережний метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту. МПХОУР полягає у:

1) нейромережному прогнозуванні характеристик програмного проекту на основі аналізу показників специфікації;

2) інтерпретації отриманих відносних значень характеристик програмного проекту за допомогою інтегративного показника проекту;

3) оцінюванні ступеня успішності реалізації програмного проекту на основі інтегративного

показника проекту;

4) перевіріти стабільності та припустимості компенсаційних впливів характеристик програмного проекту.

Запропонований метод відрізняється від відомих тим, що дозволяє прогнозувати успішність реалізації програмних проектів на основі лише специфікації вимог та порівнювати програмні проекти комплексно – за прогнозованими значеннями основних характеристик та значеннями ступеня успішності реалізації програмного проекту (а не тільки за вартістю та тривалістю, як відбувається наразі). Практичне значення розробленого методу полягає у його використанні для виконання обґрунтованого вибору програмного проекту замовником і розробником для подальшої реалізації.

Перспективою для подальших досліджень авторів є:

1) підвищення достовірності роботи даного методу за рахунок підвищення достовірності роботи ШНМ прогнозування основних характеристик програмного проекту на основі аналізу специфікацій, для чого необхідним є збір великої кількості показників зі специфікацій вже розроблених проектів та значень характеристик розробленого ПЗ для побудови навчальної вибірки ШНМ;

2) підбір варіативного (диверсного) компоненту, який здійснюватиме прогнозування основних характеристик ПЗ на основі аналізу специфікацій;

3) розроблення програмних засобів (інформаційної технології) прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту на основі аналізу специфікацій, яка підтримуватиме: збір показників специфікації, опрацювання показників специфікації за допомогою ШНМ, збір прогнозованих відносних значень характеристик програмного проекту, розрахунок інтегративного показника проекту та ступеня успішності реалізації програмного проекту, перевірку стабільності та припустимості компенсаційних впливів характеристик програмного проекту.

Література

1. S.McConnell. Code complete. – Microsoft Press, 2013. – 896 p.
2. CHAOS Manifesto: Think big, act small – The Standish Group International: CHAOS Knowledge Center, 2013 – 52 p.
3. ISO 9000:2005 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary
4. ISO 9001:2008 Quality management systems – Requirements
5. P.Bourque. Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK). Version 3.0 / Bourque P., R.E.Fairley. – A project of the IEEE Computer Society, 2014. – 335 p.
6. А.В.Турчин. Структура глобальной катастрофы: Риски вымирания человечества в XXI веке / А.В. Турчин. – М.: Изд-во ЛКИ, 2011. – 432 с.
7. Software goes wrong, we all know that, but just how wrong can it go? // [Electronic resource] – Access mode: <http://www.datareservoir.co.uk/bugs/>
8. 20 famous software disasters // [Electronic resource] – Access mode: <http://sandipsandilya.wordpress.com/2011/01/17/20-famous-software-disasters/>
9. Explaining settlement fails // [Electronic resource] – Access mode: http://www.ny.frb.org/research/current_issues/ci11-9/ci11-9.html
10. R.Patton. Software testing: 2nd edition / Patton R. — Indianapolis: Sams, 2005. — 408p.
11. N.G.Levenson. Systemic factors in software-related spacecraft accidents / Levenson N.G.// AIAA Space 2001 Conference and Exposition, pp.1-11
12. N.G.Levenson Software challenges in achieving space safety / Levenson N.G.// Journal of the British Interplanetary Society - Vol. 62, July/August 2009, pp. 265-272
13. T.Ishimatsu. Hazard analysis of complex spacecraft using systems-theoretic process analysis / Ishimatsu T., Leveson N.G., Thomas J.P., Fleming C.H., Katahira M., Miyamoto Yu., Ujiie R., Nakao H., Hoshino N. // Journal of Spacecraft and Rockets - Vol. 51, No. 2 (2014), pp. 509-522
14. C.Jones. The economics of software quality / Jones C., Bonsignour O. – Boston: Pearson Education, 2012. – 588 p.
15. E.Yourdon. Death March: The complete software developer's guide to surviving "Mission impossible" projects (2nd edition) / Yourdon E. – Prentice Hall, 200
16. N.Johnson. Software testing: Innovate or die // [Electronic resource] – Access mode: <http://www.slideshare.net/johnsonnigel/testing-innovate-or-die-42187102>
17. A.Maedche. Software for people: fundamentals, trends and best practices (Management for professionals) / Maedche A., Botzenhardt A., Neer L. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. – 293 p.
18. Красій А.В. Моделювання процесу прогнозування характеристик програмного забезпечення на основі аналізу специфікацій / А.В. Красій // Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво". – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2014. – С.66-76
19. N.Fenton. Software metrics: A rigorous approach (3rd edition) – CRC Press, 2014 – 597 p.
20. A.Chen. Visual models for software requirements / Chen A., Beatty J. – W.: MS Press, 2012. – 444 p.
21. A.Fatwanto. Software requirements specification analysis using natural language processing technique / Fatwanto A. // International Conference on Quality in Research – 2013, pp.105-110

22. T.Rehman. Analysis of requirement engineering processes, tools/techniques and methodologies / Rehman T., Khan M.N.A., Riaz N. // I.J. Information Technology and Computer Science. – 2013. – pp.40-48
23. IEEE 830-1998. Recommended practice for software requirements specifications
24. K.Wiegers. Software requirements: 3-rd edition / Wiegers K., Beatty J. – W.: MS Press, 2013. – 640 p.
25. Говорущенко Т.О.. Математичне моделювання специфікації вимог та характеристик програмного забезпечення / Т.О. Говорущенко А.В. Красій // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: НАУ “ХАІ”, 2014. – № 5, – С.34-39
26. Красій А.В.. Нейромережна модель прогнозування характеристик програмного забезпечення на основі аналізу специфікацій / А.В. Красій // Інтелектуальні технології в системному програмуванні. III Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів. Збірник наукових праць.– Хмельницький: Гонта А.С., 2014. – С.329-338

References

1. S.McConnell. Code complete - Microsoft Press, 2013 - 896 p.
2. CHAOS Manifesto: Think big, act small – The Standish Group International: CHAOS Knowledge Center, 2013 – 52 p.
3. ISO 9000:2005 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary
4. ISO 9001:2008 Quality management systems – Requirements
5. P.Bourque. Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOOK). Version 3.0 / Bourque P., R.E.Fairley - A project of the IEEE Computer Society, 2014 – 335 p.
6. A.V.Turchyn. Structura globalnoy katastrofi: Riski vymiraniya chelovechestva v XXI veke / Turchyn A.V. – M.: Izdatelstvo LKI, 2011 – 432 s.
7. Software goes wrong, we all know that, but just how wrong can it go? // [Electronic resource] – Access mode: <http://www.datareservoir.co.uk/bugs/>
8. 20 famous software disasters // [Electronic resource] – Access mode: <http://sandipsandilya.wordpress.com/2011/01/17/20-famous-software-disasters/>
9. Explaining settlement fails // [Electronic resource] – Access mode: http://www.ny.frb.org/research/current_issues/ci11-9/ci11-9.html
10. R.Patton. Software testing: 2nd edition / Patton R. — Indianapolis: Sams, 2005. — 408p.
11. N.G.Leveson. Systemic factors in software-related spacecraft accidents / Leveson N.G.// AIAA Space 2001 Conference and Exposition, pp.1-11
12. N.G.Leveson Software challenges in achieving space safety / Leveson N.G.// Journal of the British Interplanetary Society - Vol. 62, July/August 2009, pp. 265-272
13. T.Ishimatsu. Hazard analysis of complex spacecraft using systems-theoretic process analysis / Ishimatsu T., Leveson N.G., Thomas J.P., Fleming C.H., Katahira M., Miyamoto Yu., Ujiie R., Nakao H., Hoshino N. // Journal of Spacecraft and Rockets - Vol. 51, No. 2 (2014), pp. 509-522
14. C.Jones. The economics of software quality / Jones C., Bonsignour O. – Boston: Pearson Education, 2012. – 588 p.
15. E.Yourdon. Death March: The complete software developer's guide to surviving “Mission impossible” projects (2nd edition) / Yourdon E.– Prentice Hall, 200
16. N.Johnson. Software testing: Innovate or die // [Electronic resource] – Access mode: <http://www.slideshare.net/johnsonnigel/testing-innovate-or-die-42187102>
17. A.Maedche. Software for people: fundamentals, trends and best practices (Management for professionals) / Maedche A., Botzenhardt A., Neer L. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. – 293 p.
18. A.V.Krasiy. Modeluvannya protsesu prognozuvannya kharakteristik programnogo zabezpechennya na osnovi analizu spetsifikatsiy / Krasiy A.V. // Naukoviy jurnal "Computerno-integrovani tekhnologii: osvits, nauka, virobnictvo" - Lutsk: Lutskiy natsionalniy tekhnichniy universitet, 2014 - s.66-76
19. N.Fenton. Software metrics: A rigorous approach (3rd edition) – CRC Press, 2014 – 597 p.
20. A.Chen. Visual models for software requirements / Chen A., Beatty J. – W.: MS Press, 2012. – 444 p.
21. A.Fatwanto. Software requirements specification analysis using natural language processing technique / Fatwanto A. // International Conference on Quality in Research – 2013, pp.105-110
22. T.Rehman. Analysis of requirement engineering processes, tools/techniques and methodologies / Rehman T., Khan M.N.A., Riaz N. // I.J. Information Technology and Computer Science – 2013, pp.40-48
23. IEEE 830-1998. Recommended practice for software requirements specifications
24. K.Wiegers. Software requirements: 3-rd edition / Wiegers K., Beatty J. – W.: MS Press, 2013. – 640 p.
25. T.O.Hovorushchenko. Matematichne modeluvannya spetsifikatsii vimoig ta kharakteristik programnogo zabezpechennya / Hovorushchenko T.O., Krasiy A.V. // Radioelektronni i computerni systemy– Kharkiv: NAU “KhAI”, 2014 – № 5, s.34-39
26. A.V.Krasiy. Neyromerezha model prognozuvannya kharakteristik [programnogo zabezpechennya na osnovi analizu spetsifikatsiy / Krasiy A.V. // Intelektualni tekhnologii v systemnomu programuvanni. III Vseukrainska naukoivo-praktichna konferentsiya molodykh uchenykh ta studentiv. Zbirnyk naukovykh prats - Khmelnytskyi: Gonta A.S., 2014 - s.329-338

Рецензія/Peer review : 21.4.2015 p.

Надрукована/Printed : 13.5.2015 p.

Рецензент: д.т.н. О.В. Поморова

ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ОБЧИСЛЕННЯ ОЦІНОК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ ОБМІНУ ДАНИМИ

Одним з невирішених науково-технічних завдань, пов'язаних з реалізацією апаратного та алгоритмічного забезпечення засобів обміну даними на основі використання оцінок інформаційної ентропії, є дослідження шляхів оптимізації процедури опрацювання широкосмугових сигналів з маніпульованим значенням ентропії.

Розглянуто особливості реалізації методу опрацювання випадкових сигналів з маніпульованим значенням ентропії в комунікаційних каналах комп'ютерних систем. Запропоновано один з варіантів оптимізації алгоритму розрахунку оцінок ентропії, що не потребує реалізації алгоритму розрахунку ряду Тейлора при обчисленні функції логарифму.

В результаті проведених досліджень запропоновано спрощені алгоритми розрахунку оцінок інформаційної ентропії при опрацюванні випадкових сигналів з маніпульованим значенням ентропії.

Ключові слова: оцінки ентропії, алгоритм, випадкові сигнали, маніпуляція.

STEPAN IVANOVYCH MELNYCHUK, MARIYA VOLODYMYRIVNA KOROPETSKA,
IRYNA ZINOVIIVNA MANULYAK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

OPTIMIZATION ALGORITHM FOR COMPUTATION ENTROPY ESTIMATIONS OF RANDOM SIGNALS FOR DIGITAL COMMUNICATION DEVICES

Abstract. One of the outstanding scientific and technical problems associated with implementation of hardware and software algorithmic means of data exchange on the basis of information entropy estimation, is to study ways to optimize processing procedures broadband signals manipulated entropy value.

Implementation features of the method of processing random signals manipulated entropy value in computer systems and communication channels. One of the options proposed optimization algorithm of entropy estimates that the algorithm does not require calculation of Taylor series when calculating the logarithm function.

As a research result the proposed simplified algorithms for calculating the estimates in the information processing random signals manipulation entropy value.

Keywords: entropy estimation algorithm, random signals manipulation.

ВСТУП

Однією з умов реалізації якісних розподілених комп'ютерних систем є наявність надійних комунікаційних каналів [1]. Традиційно в сучасних комп'ютерних системах реалізація комунікаційного устаткування ґрунтується на використанні сигналів з одиничною базою. Такий підхід зумовлений швидкою мініатюризацією обладнання комунікаційних каналів та інтенсивним зниженням їх вартості. Слід зазначити, що згадані засоби мають низьку завадостійкість, що неприйнятно в умовах дії інтенсивних завад промислового характеру, а також потребують монопольного використання частотного ресурсу, що суттєво знижує ефективність їх групового використання.

Одним з варіантів покращення згаданих характеристик є перехід до сигналів з розширеною базою, такий підхід дозволяє забезпечити надійний обмін даними при малих співвідношеннях сигнал/завада і, за умови використання кодового розділення, забезпечує суттєве ущільнення інформаційного каналу. Проте реалізація апаратних засобів для формування та оброблення широкосмугових сигналів характеризується значною технічною та алгоритмічною складністю, що обмежує, на даному етапі розвитку, їх широке використання. Таким чином ефективне вирішення окреслених завдань може бути отримане за умови успішного розв'язання науково-технічних проблем, які пов'язані із створенням та дослідженням методів формування і оброблення широкосмугових сигналів, оптимізації відповідних схемотехнічних та алгоритмічних рішень.

1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Практично більшість запропонованих способів реалізації обміну даними на основі сигналів з розширеною базою ґрунтується на кореляційному опрацюванні. Такий підхід зумовлює необхідність застосування складних схемотехнічних чи алгоритмічних рішень при формуванні сигналів із заданими кореляційними властивостями, а також значних обчислювальних затрат при їх опрацюванні [2, 3]. Крім того зберігання взірців псевдовипадкових сигналів у кореляторах приводить до необхідності залучення додаткових об'ємів пам'яті.

В роботах [4, 5] розглянуто варіант реалізації обміну даними на основі широкосмугових сигналів з відомим значенням ентропії. В запропонованому підході інформаційною ознакою двійкового елементу цифрового повідомлення є відповідна оцінка ентропії фрагменту випадкових сигналів. Фактично тут реалізовано маніпуляцію ентропією, коли у відповідність до біту інформаційного повідомлення ставиться фрагмент випадкового сигналу із заданим значенням ентропії. Зокрема значення "0" може бути

представлено фрагментом сигналу (амплітуда приймає одне значення) з нульовою оцінкою ентропії, а значення "1" представляється фрагментом сигналу (амплітуда приймає задану кількість значень) з наперед відомою, ненульовою оцінкою ентропії. Основні етапи описаного методу маніпуляції для двійкового інформаційного повідомлення: 10110 подано на рисунку 1.

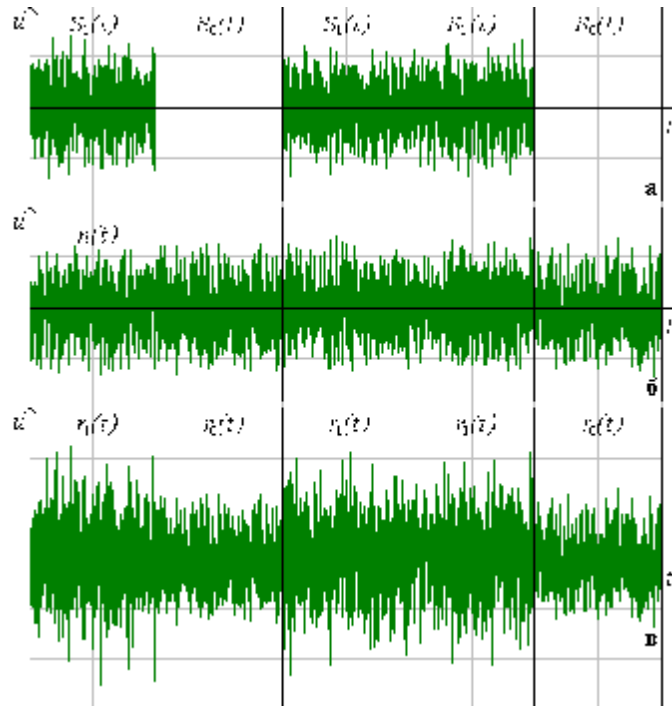


Рис. 1. Сигнальне представлення методу маніпуляції ентропії випадковими сигналами різної потужності

Для представлення нульових елементів інформаційного повідомлення використано пасивну, детерміновану реалізацію сигналу $S_0(t)$ з потужністю $P_0 = 0$ і значенням ентропії $H_0 = 0$. Для представлення одиничних елементів задіяна реалізація випадкового процесу $S_1(t)$ фіксованої потужності P_1 та ентропії H_1 відповідно (рис.1,а).

При проходженні через канал обміну даними сигнали зазнають спотворень, внаслідок дії адитивних завад $n(t)$, які характеризуються власним розподілом, потужністю P_n та ентропією H_n (рис.1,б). Така взаємодія приводить до утворення реалізацій $r_0(t)$ та $r_1(t)$, (рис.1,в). Доцільно зазначити, що в залежності від ступеня кореляції $S_1(t)$ та завади $n(t)$ потужність результуючого сигналу $r_1(t)$ може приймати значення нуля (для інверсних абсолютно корельованих сигналів), суми потужностей (для некорельованих сигналів) тощо. Оцінки ентропії реалізацій таких сигналів змінюються нелінійно, за умови нормального розподілу можливих станів – за логарифмічним законом.

За характеристиками завадостійкості такий метод обміну даними поступається некогерентній модуляції FSK та когерентній модуляції PSK, проте значно простіший з погляду апаратної реалізації [6]. Крім того, при однакових часових затратах, такий спосіб забезпечує опрацювання випадкових сигналів з більшою базою і, як наслідок, дозволяє отримати покращення завадостійкості до 2 дБ. Доцільно також зазначити, що використання випадкових сигналів забезпечує більш рівномірне використання частотної смуги інформаційного каналу і не потребує залучення додаткових об'ємів пам'яті для збереження взірців псевдовипадкових сигналів.

2. ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ РОБОТИ

Одним з невирішених раніше науково-технічних завдань, пов'язаних з реалізацією апаратного та алгоритмічного забезпечення засобів обміну даними на основі згаданого вище способу, є дослідження шляхів оптимізації процедури оброблення широкосмугових сигналів з відомим значенням ентропії. Тобто об'єктом дослідження є спосіб опрацювання випадкових сигналів, зокрема процедура розрахунку оцінок ентропії, а зменшення обчислювальних затрат на реалізацію алгоритму такого опрацювання – основною метою роботи.

3. АПЕРТУРА ОЦІНОК ЕНТРОПІЇ

Дослідження проводились шляхом моделювання. Основним чинником, що діє в каналі обміну даними, вважають стаціонарний адитивний білий гаусів шум AWGN [2, 3]. Отже відповідні сигнали та завади, в межах поданого дослідження, формувались, зберігались та оброблялись в цифровому форматі з такими параметрами: кількість рівнів квантування 65535, частота дискретизації 48 кГц, ширина частотної смуги сигналів та завад 24 кГц, швидкість передачі війкових інформаційних символів від 2 до 4800 біт/с.

Визначення апертури оцінок ентропії $\hat{H}_i$ (рис.2) послідовних фрагментів випадкового сигналу проведено шляхом багаторазових розрахунків для різних розмірів вибірок на основі змодельованих тестових вибірок, узагальнені результати подано в таблицях 1 та 2. Як можна побачити, з отриманих результатів, апертури оцінок ентропії випадкових сигналів поставлених у відповідність “0”-го та “1”-го інформаційних символів не перевищують 0,08 та 0,09 відповідно.

Таблиця 1

**Зміна характеристик $\hat{H}_i$ в залежності від розміру вибірки
для випадкових сигналів “0”-го інформаційного символу**

Розмір вибірки (відліків)	$\max \hat{H}_i$	$\min \hat{H}_i$	$\Delta \hat{H}_i$
512	9,0010	8,9261	0,0752
1024	9,9842	9,9091	0,0750
2048	10,9340	10,8700	0,0640
4096	11,8370	11,7800	0,0570
8192	12,6640	12,6113	0,0527
16384	13,3560	13,3130	0,0430
32768	13,8594	13,8251	0,0343
65535	14,1740	14,1520	0,0220

Фактично флуктуація в околі усередненого значення складає 0,04 та 0,09 і є не меншою за 0,02 та 0,015 для оцінок ентропії відповідних інформаційних ознак.

Таблиця 2

**Зміна характеристик $\hat{H}_i$ в залежності від розміру вибірки для випадкових сигналів “1”-го
інформаційного символу**

Розмір вибірки (відліків)	$\max \hat{H}_i$	$\min \hat{H}_i$	$\Delta \hat{H}_i$
512	8,9981	8,9090	0,0890
1024	9,9672	9,8822	0,0850
2048	10,9030	10,8200	0,0830
4096	11,7722	11,6950	0,0772
8192	12,5320	12,4750	0,0570
16384	13,1360	13,0862	0,0498
32768	13,5421	13,5072	0,0349
65535	13,7760	13,7570	0,0190

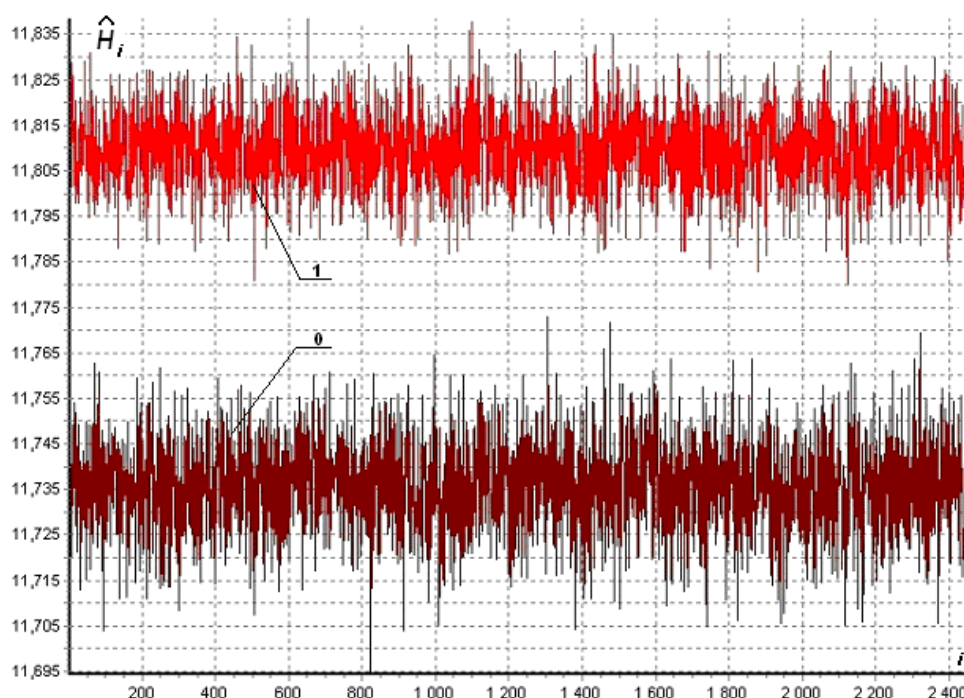


Рис. 2. Коливання $\hat{H}_i$ послідовних фрагментів випадкового сигналу, які відповідають бітам інформаційного повідомлення

Оцінка дисперсії для поданих в таблицях 1 та 2 складає 0.0007 та 0.0004 відповідно. З огляду на отримані результати доцільно зазначити, що при реалізації процедури обчислення оцінок ентропії розглянутих вище типів сигналів достатньо забезпечити точність розрахунку не нижче 10^{-3} чи 10^{-4} .

Таким чином оптимізація алгоритму обчислення може бути реалізована за рахунок допустимої втрати точності розрахунку $\hat{H}_i$.

4. ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ЕНТРОПІЇ

Традиційно [6], розрахунок оцінок ентропії може проводитись за формулами Шеннона

$$\hat{H} = -\sum_{i=1}^m p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i), \text{ де } p(r_i) - \text{імовірність появи стану сигналу } r_i; \text{ Хартлі } \hat{H} = \log_2 m, \text{ де } m -$$

кількість станів сигналу; диференційної ентропії $\hat{H} = \log_2 \sqrt{2\pi e s^2}$. Доцільно зазначити, що використання формули диференційної ентропії забезпечує прийнятну ефективність тільки у випадку нормально розподілених ймовірностей станів вхідного сигналу, що практично не зустрічається в експлуатаційних умовах.

Розглянувши подані вирази можна відзначити, що елементом, який потребує найбільше обчислювальних ресурсів є функція логарифму, оскільки її розрахунок ґрунтується на розкладі в ряд Тейлора [7]:

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot x^{n+1}}{n+1} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} \cdot x^n}{n}$$

для усіх $|x| < 1$.

Однією з неприйнятних особливостей такої реалізації є суттєве зростання необхідної кількості обчислень членів коли $x \rightarrow 0$. Результати підрахунку необхідної кількості математичних операцій (додавання, віднімання, множення та ділення), які необхідно виконати при обчисленні логарифму для діапазону від 1 до 0, що представляє ймовірності появи відповідних станів випадкового сигналу, подано на рисунку 3.

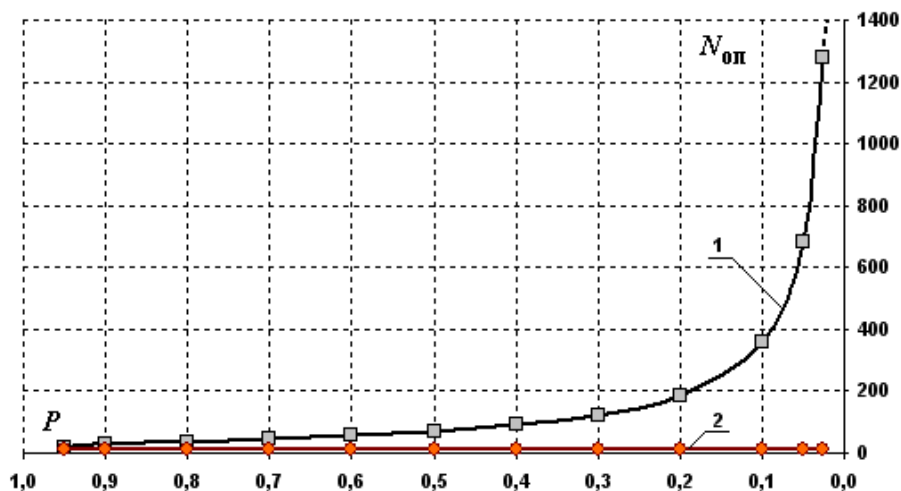


Рис. 3. Залежність кількості математичних операцій від ймовірності появи станів при розрахунку за:
1 - формулою Шеннона через ряд Тейлора, 2 - системою поліноміальних функцій 3-го степеня

Як можна побачити, при наближенні ймовірності до 0 кількість операцій, які необхідні для обчислення ентропії з використанням ряду Тейлора зростає непропорційно, що практично унеможливує ефективну апаратну чи програмну реалізацію.

Одним із шляхів оптимізації розрахунку є відмова від здійснення розрахунків, що реалізуються на основі ряду Тейлора, що неминує приведе до втрати точності. Оскільки ймовірність появи окремих станів r_i оброблюваного сигналу охоплює інтервал $[0,1]$ то графічна інтерпретація для складових формули Шеннона $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ матиме вигляд, наведений на рисунку 4.

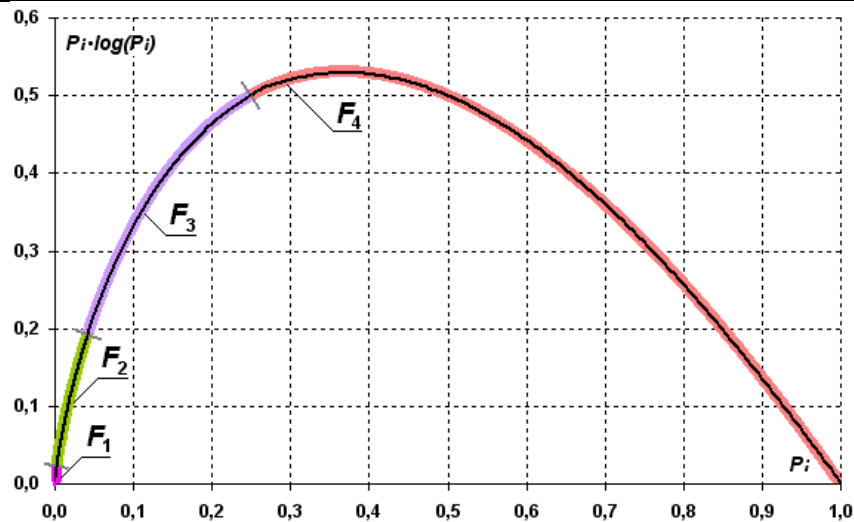


Рис. 4. Залежність $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ формули Шеннона від зміни $p(r_i)$ з розділенням на чотири сплайни

На основі проведеного регресійного аналізу встановлено, що одним із найпростіших варіантів заміни складової $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ формули Шеннона для обчислення ентропії є апроксимація сплайнами третього порядку з нерівномірним розділенням інтервалу $[0,1]$:

$$\begin{cases} 0.0000 \leq P_i \leq 0.0030; & F_1(P_i) \\ 0.0030 < P_i \leq 0.0445; & F_2(P_i) \\ 0.0445 < P_i \leq 0.2550; & F_3(P_i) \\ 0.2550 < P_i \leq 1.0000; & F_4(P_i) \end{cases} \quad (1)$$

де $F_1(P_i) = 332272.3468 \cdot P_i^3 - 2068.47238 \cdot P_i^2 + 11.73700 \cdot P_i + 0.00002$

$$F_2(P_i) = 651.89677 \cdot P_i^3 - 81.79213 \cdot P_i^2 + 6.70684 \cdot P_i + 0.00002$$

$$F_3(P_i) = 13.15949 \cdot P_i^3 - 11.14588 \cdot P_i^2 + 3.74297 \cdot P_i + 0.05596$$

$$F_4(P_i) = 0.69757 \cdot P_i^3 - 2.52898 \cdot P_i^2 + 1.57670 \cdot P_i + 0.25690$$

Результати оцінок абсолютної похибки, що виникає при обчисленні оцінок ентропії за виразом 1, подано на рисунку 5.

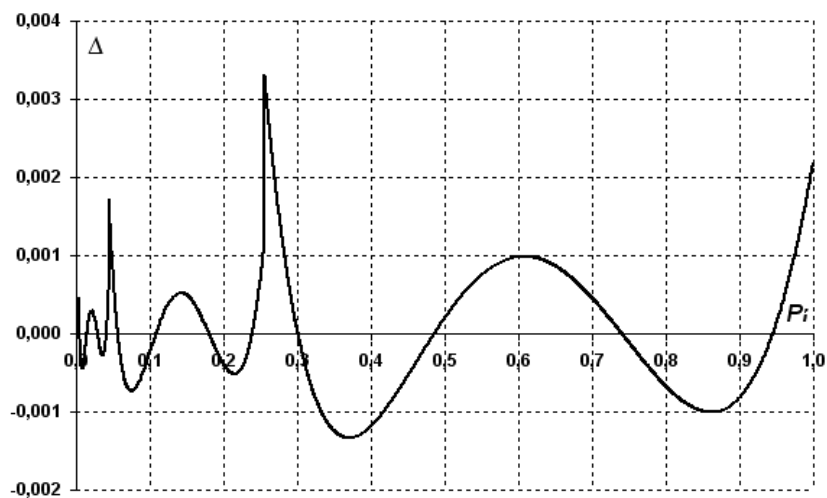


Рис. 5. Абсолютна похибка розрахунку ентропії за виразом 1

Як можна побачити реалізований аналітичний опис 1 дозволяє забезпечити абсолютну похибку обчислення практично на порядок меншу по відношенню до флуктуації, що спостерігається в околі усередненого значення оцінок ентропії відповідних інформаційних ознак.

Блок-схему реалізації відповідного алгоритму на основі аналітичного виразу 1 для обчислення ентропії за формулою К.Шеннона подано на рисунку 6.

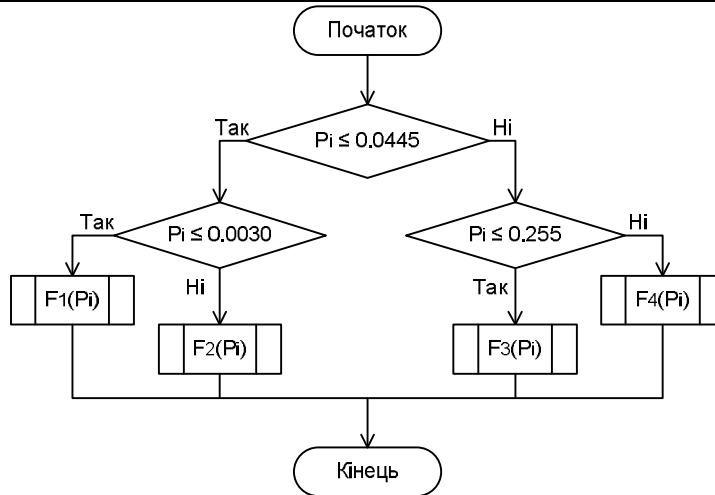
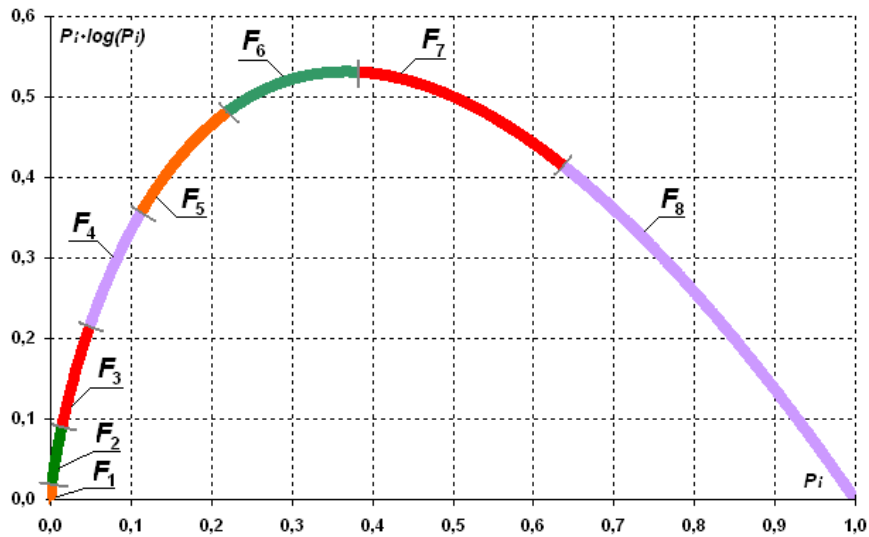


Рис. 6. Блок-схема алгоритму обчислення ентропії за виразом (1)

Наступне зменшення абсолютної похибки розрахунку можна досягнути шляхом збільшення степеня сплайнів та їх кількості. Результати регресійного аналізу для сплайнів четвертого степеня подано на рисунку 7.

Рис. 7. Залежність $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ формули Шеннона від зміни $p(r_i)$ з розділенням на 8 сплайнів

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0.0000 \leq P_i \leq 0.0025; & F_1(P_i) \\ 0.0025 < P_i \leq 0.0155; & F_2(P_i) \\ 0.0155 < P_i \leq 0.5000; & F_3(P_i) \\ 0.5000 < P_i \leq 0.1150; & F_4(P_i) \\ 0.1150 < P_i \leq 0.2240; & F_5(P_i) \\ 0.2240 < P_i \leq 0.3895; & F_6(P_i) \\ 0.3895 < P_i \leq 0.6410; & F_7(P_i) \\ 0.6410 < P_i \leq 1.0000; & F_8(P_i) \end{array} \right. \quad (2)$$

де

$$F_1(P_i) = -186569246.460937 \cdot P_i^4 + 1265118.366985 \cdot P_i^3 - 3501.057660 \cdot P_i^2 + 12.403319 \cdot P_i + 0.000002$$

$$F_2(P_i) = -239489.921162 \cdot P_i^4 + 1234.313603 \cdot P_i^3 - 295.789851 \cdot P_i^2 + 8.368012 \cdot P_i + 0.002379$$

$$F_3(P_i) = -4061.107343 \cdot P_i^4 + 780.766753 \cdot P_i^3 - 72.532461 \cdot P_i^2 + 6.297200 \cdot P_i + 0.010342$$

$$F_4(P_i) = -234.353792 \cdot P_i^4 + 114.664654 \cdot P_i^3 - 27.545219 \cdot P_i^2 + 4.886321 \cdot P_i + 0.027784$$

$$F_5(P_i) = -26.183010 \cdot P_i^4 + 26.426930 \cdot P_i^3 - 13.178840 \cdot P_i^2 + 3.817640 \cdot P_i + 0.058489$$

$$F_6(P_i) = -4.338916 \cdot P_i^4 + 7.943741 \cdot P_i^3 - 7.211768 \cdot P_i^2 + 2.945031 \cdot P_i + 0.107304$$

$$F_7(P_i) = 0.908594 \cdot P_i^4 + 2.796879 \cdot P_i^3 - 4.275817 \cdot P_i^2 + 2.189704 \cdot P_i + 0.181280$$

$$F_8(P_i) = -0.223510 \cdot P_i^4 + 1.096563 \cdot P_i^3 - 2.675455 \cdot P_i^2 + 1.512272 \cdot P_i + 0.290126$$

Результати оцінок абсолютної похибки, що виникає при обчисленні оцінок ентропії за виразом 1, подано на рисунку 8.

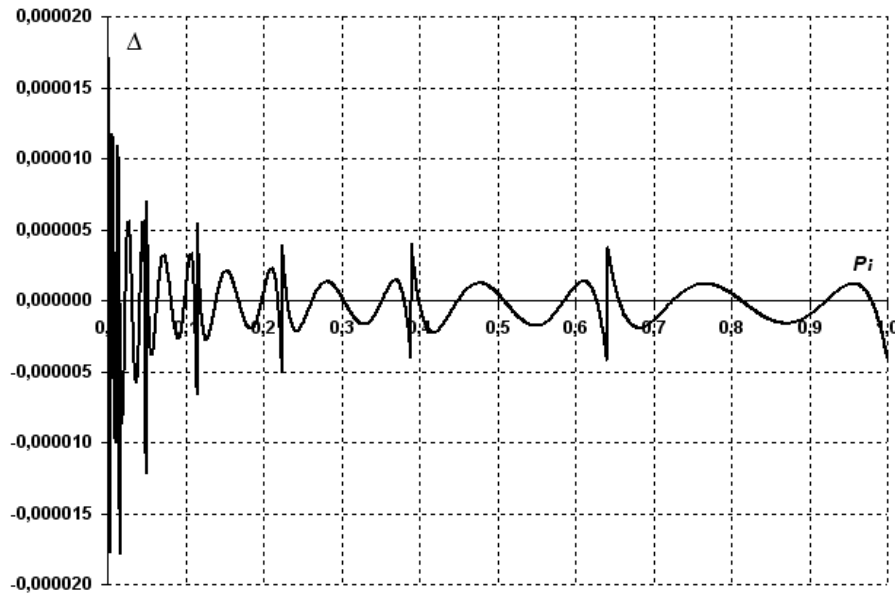


Рис. 8. Абсолютна похибка розрахунку ентропії згідно аналітичного виразу (2)

Як можна побачити отриманий аналітичний опис 2 дозволяє забезпечити абсолютну похибку обчислення практично на два порядки меншу по відношенню до флуктуації, що спостерігається в околі усередненого значення оцінок ентропії відповідних інформаційних ознак.

Блок-схему реалізації відповідного алгоритму на основі 2 для обчислення ентропії за формулою К.Шеннона подано на рисунку 9.

При реалізації обчислень за розробленими алгоритмами, рисунки 6 та 9, виникає необхідність виконання двох і трьох операцій порівняння відповідно, проте реалізації деревоподібної структури забезпечує суттєве зниження обчислювальних затрат, рис.3 крива 2.

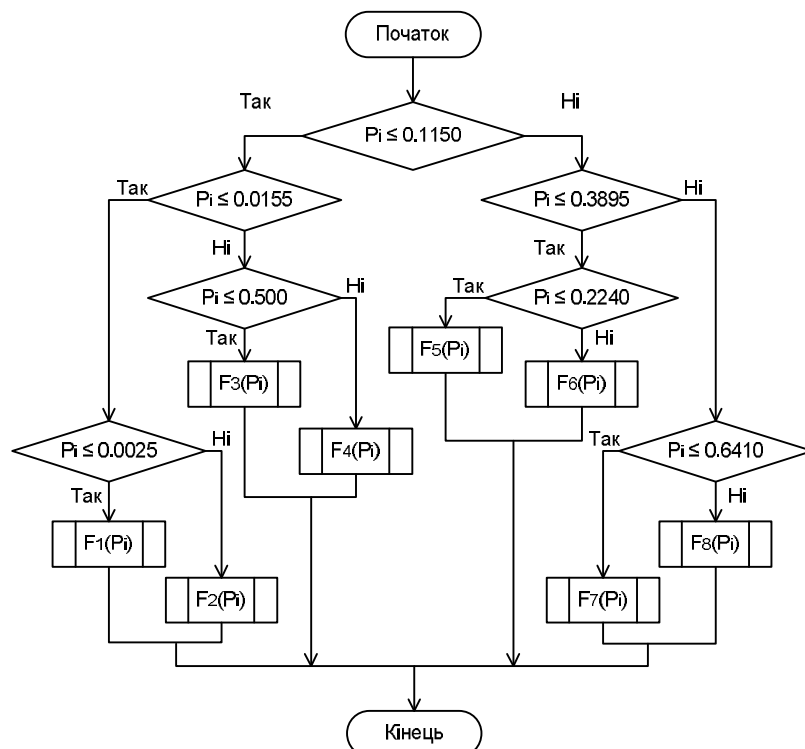


Рис. 9. Блок-схема алгоритму обчислення ентропії згідно аналітичного виразу 2

Висновки

У результаті проведених досліджень запропоновано спрощені алгоритми розрахунку оцінок ентропії при опрацюванні випадкових сигналів з відомим значенням ентропії, які дозволяють забезпечити прийнятну точність при суттєвому зниженні обчислювальних затрат. Коректність отриманих аналітичних виразів підтверджується тим, що величина абсолютної похибки менша по відношенню до флуктуації, що спостерігається в околі усередненого значення оцінок ентропії відповідних інформаційних ознак менша на 1 і 2 порядки відповідно.

Література

1. Бойко Ю.М. Аналіз енергетичної та спектральної ефективності сигналів у цифрових телекомунікаційних системах. / Ю.М. Бойко, О.І. Єрмоєнко, Ю.Б. Ісаєнко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький. – 2013. – №6. – С. 147-160.
2. Скляр Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. / Бернард Скляр; пер с англ. – 2-е изд., испр.). – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1004 с.
3. Прокис Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис ;пер. с англ.; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 598 с.
4. Пат. 81017 Україна, МПК(2006) Н04В 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації / Мельничук С.І., Козленко М.І. (Україна). – заявка № а 2005 08893; заявл. 19.09.2005; опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19.
5. Мельничук С.І. Теорія ентропійних методів маніпуляції сигналів / С.І. Мельничук // Тези доповідей проблемно-наукової міжгалузевої конференції: Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання (ПНМК-2009). – Бучач: Інститут менеджменту і аудиту, 2009. – 6 с.
6. Козленко М.І. Дослідження завадостійкості способу передавання та приймання інформації, зокрема, способів формування та обробки широкосмугових сигналів. / М.І. Козленко, С.І. Мельничук // Електроніка та зв'язок. . – 2007. – № 2(37). – С. 82-92. – ISSN 1811-4512.
7. Жураковський Ю.П. Теорія інформації кодування: підручник / Ю.П. Жураковський, В.П. Полторак. – К.: Вища школа., 2001. – 255с.

References

1. J.M. Boiko, O.I. Eromenko, J.B. Isaenko. Analiz enerhetuchnoi ta spektralnoi efektyvnosti syhnaliv u cyfrovyykh telekomunikatsiynykh systemakh. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2013. Volume 6. Issue 1. pp. 147-160.
2. Sklyar Bernard. Cifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye. Izd. 2-e, ispr. Moskow, Izdatelskij dom «Vil'yams», 2003, 1004 p.
3. Prokis Dzh. Cyfrovaya svyaz'. Ed. by D.D. Klovs'koho, Moskow, Radio i svyaz', 2000, 598 p.
4. Pat. 81017 Ukraina, MPK (2006) N04V 1/69. Sposib peredavannia ta pryimannia informacii / Melnychuk S.I., Kozlenko M.I. (Ukraina). – zaiavka №a 2005 08893; zaiavl. 19.09.2005; opubl. 26.11.2007, Biul. №19.
5. Melnychuk S.I. Teoriia entropiinyx metodiv manipuliacii syhnaliv. Tezu dopovidei problemno-naukovoi mizhhaluzevoi konferencii. Informaciini problemu komp'iuternyx system, jursprudenicii, ekonomiky ta modeliuvannia (PNMK-2009). Buchach. 2009. – p. 6.
6. M.I. Kozlenko, S.I. Melnychuk. Doslidzhennia zavadostikosti sposobu peredavannia ta pryimannia informacii, zokrama sposobiv formuvannia ta obrobky shirokosmuhovyyx suhnaliv. Elektronika ta zv'iazok. Kyiv. 2007. №2(37). pp. 82-92. ISSN 1811-4512.
7. Zhurakovskiy J.P., Poltorak V.P. Teoriia informacii koduvannia: [pidruchnik]. Kyiv, Vushcha shk., 2001, 255 p.

Рецензія/Peer review : 12.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Заміховський Л.М.

АНАЛІЗ МЕТРИК ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ІР ВЗАЄМОДІЇ

Інтерес до методів глибокого аналізу пакетів з кожним роком зростає. Акцент в напрямку розвитку комп'ютерних мереж ставиться в підвищенні їх інтелектуальності. Створення оптимальної, з точки зору обчислювальної потужності, системи класифікації є першочерговою задачею розробників програмного забезпечення та дослідників. В статті розглянуто алгоритм мінімізації наборів правил класифікації мережеских пакетів. Описані метрики можуть бути використані для створення гнучких політик в системах контролю якості обслуговування в мережах операторів, використовуючи рівень додатків як ідентифікатор. Особливістю запропонованого алгоритму є повна його пристосованість до різних типів мереж та сервісних потоків, можлива параметризація та налаштування в залежності від наявної апаратної платформи.

Ключові слова: Глибокий аналіз пакетів, аналіз трафіку, якість обслуговування, регулярні вирази.

K.S. DIEIEV, YU. V. BOYKO

Taras Shevchenko national university of Kyiv

COMPUTER NETWORK QUALITY OF SERVICE METRICS ANALYSIS DEPENDING ON CHARACTERISTICS OF IP INTERACTIONS

Increasing interest to deep packet inspection methods continue growth every year. Direction of computer networking development is placed tight to improvement awareness of internal intelligence. One of the primary goal of application developers and scientists is creation powerful and efficient in terms of computing resources classifying system. This document consider algorithm which primary purpose minimizing rule-base sets for packet analysis. Reviewed metrics could be used for flexible quality of service management in service provider network using application layer as a reference. The benefit of proposed algorithm are it applicability to different networks and service flows and embedded availability for fine-tuning dependent on available hardware platform.

Keywords: Deep packet inspection, traffic analysis, quality of service, regular expression.

Вступ

Глибокий аналіз пакетів (DPI, Deep Packet Inspection) відіграє важливу роль у створенні новітніх мережеских сервісів. Побудова мереж за принципом розрізнення типів додатків, що взаємодіють між собою, приносить суттєві переваги в управлінні та контролі мереж операторського класу. Використання інтелектуальних апаратно-програмних платформ аналізу мережескої взаємодії відкриває для оператора можливість впливати на інформаційні потоки в його мережі не лише з використанням стандартних мережеских реквізитів, а й за допомогою сервіс-орієнтованих правил та політик (AAN, Application Aware Network).

Створення таких мереж дозволяє гарантувати високий рівень обслуговування для різних типів користувачів у той же час збільшуючи ефективну завантаженість каналів зв'язку оператора. Так як все більше Інтернет сервісів мігрують до хмарного сховища та використовують архітектурний підхід що сприяє децентралізації обміну даними, важливим фактором є необхідність створення систем аналізу, які б дозволяли виявляти вказану взаємодію. Маючи можливість ідентифікувати такі інформаційні потоки оператор послуг має додатковий важіль впливу на користувачів свого сервісу – з'являється можливість додатково тарифікувати вказані взаємодії, застосовувати для них окремі політики чи взагалі обмежувати їх використання окремим групам користувачів. Використання методу вивчення навантаження пакетів даних, яке ґрунтується на вивченні відповідності інформаційного потоку відомим сигнатурам складає базис систем глибокого аналізу пакетів. Термін «глибокий» використовується стосовно відносного зміщення полів ідентифікації в відповідному пакеті даних. Мається на увазі, що відбувається перевірка параметрів які збережені поза фіксованими заголовками рівнів 2-4 моделі OSI.

В роботі розглядаються методи опису метрик сигнатур для аналізу. Створений алгоритм дозволяє оптимізувати процес створення правил з регулярних виразів зменшуючи загальних час необхідний для їх обробки та обсяги пам'яті для збереження таблиці станів скінченного автомата (DFA, Deterministic finite automaton), тобто мінімізуючи їх.

1. Постановка проблеми.

З ростом вимог до якості обслуговування (QoS, Quality of Service) в сучасних комп'ютерних мережах, що розвиваються відповідно до концепції побудови сервіс-орієнтованих мереж наступного покоління все більше уваги приділяється засобам аналізу IP-пакетів. Причина цього полягає в тому, що функціонал DiffServ, заснований на пріоритетній обробці пакетів на вузлах мережі (Node) здатний підвищити рівень QoS на окремих елементах мережі, в той час як саме виявлення сервісних потоків є окремою задачею спеціалізованих аналізаторів мережескої взаємодії. Інструментом впливу на політики в домені маршрутизації можуть ґрунтуватися не лише на стандартних значеннях мережеских заголовків пакетів даних. Таким чином, технології аналізу вийшли за рамки простого пошуку виділених полів за

стандартним зміщенням. Це є основною концепції QoS маршрутизації або сегментного вибору маршруту (Segment Routing), що визначає напрямок розвитку моделей сервіс-орієнтованих мереж, методів, а в подальшому й повноцінних алгоритмів і протоколів маршрутизації. Зважаючи на актуальність завдань QoS з точки зору теорії та практики, вченими і виробниками мережевого обладнання запропоновано низку різнопланових рішень, що відрізняються ступенем моніторингу стану, обчислювальною складністю, рівнем гарантій щодо якості обслуговування, а загалом - передбачуваною областю застосування. У зв'язку з цим метою даної статті є огляд технологічних і теоретичних рішень в області маршрутизації на основі типу сервісу та гарантування якості обслуговування, порівняння їх переваг і недоліків, а також визначення найбільш перспективних шляхів розвитку даного напрямку сучасних телекомунікацій.

Класифікація трафіку є важливим елементом комп'ютерних мереж з різними прикладами застосувань, наприклад, управлінням смугою передачі чи пріоритезації окремих додатків, виявлення підозрілих мережевих активностей. Існує декілька категорій методів класифікації трафіку. Аналіз взаємодії на основі номерів стандартних портів є найбільш відомим та простим, він є досить ефективним для ідентифікації додатків, що не приховують свого існування та взаємодіють за наперед визначеним алгоритмом. Будучи застосованим до взаємодії точка-точка він, однак, не показує такого результату, оскільки така взаємодія часто відбувається з використанням нестандартних портів, номери яких змінюються за випадковим принципом.

Функціональні методи, зокрема, ті які виділяють та дозволяють ідентифікувати взаємодію засновуючись на понятті потоку, можуть використовуватися для виявлення взаємодії окремих типів протоколів (HTTP, пошта, деякі типи P2P взаємодій) мають обмежену продуктивність та не можуть застосовуватися до протоколів з невідомим (захищеним) каналом передачі (HTTPS, SSH). Більш того вони потребують постійного оновлення наборів правил для ідентифікації і мають підвищений рівень хибних спрацювань.

Методи глибокого аналізу пакетів (DPI, Deep Packet Inspection)[1] є найточнішими, оскільки, проводять прямий аналіз корисного навантаження пакетів даних. Більш того вони дозволяють проводити поведінковий аналіз взаємодії, а також враховувати розміри повідомлень окремих потоків, навіть якщо сама взаємодія зашифрована. Ці методи використовують набір сигнатур протоколів для класифікації трафіку. Використовуючи набори регулярних виразів при аналізі корисного навантаження можлива ідентифікації конкретного протоколу, також вони можуть використовувати дану інформацію як уточнення до класифікації за номерами портів. Незважаючи на високий рівень точності, методи аналізу по DPI мають два головних недоліки:

- підтримувати підписи(сигнатури) ідентифікованих додатків в актуальному стані досить складно, автоматизація цієї задачі виходить за рамки пакетної класифікації. Таким чином, адаптація до тимчасових змін в існуючих протоколах відбувається вкрай складно.
- навіть для методів які дозволяють автоматичне створення сигнатур, регулярні вирази отримані в результаті є досить складними. Перевірка відповідності корисного навантаження потоку даних за цими правилами займає дуже багато часу або вимагає непомірно великого простору в пам'яті, що унеможливає роботу таких систем в режимі реального часу при високих швидкостях взаємодії.

2. Огляд існуючих методів та підходів.

Задача проведення ефективної класифікації мережевої взаємодії розглядається в наукових колах з моменту появи у вільному доступі спеціалізованих бібліотек для спрощення процедури аналізу. Найбільш розповсюдженим представником є проект nDPI[2]. Основою створення даного програмного продукту є низка робіт в області статистичного аналізу мережевої взаємодії [3-6, 8]. Не вдаючись у деталі, основною проблемою є мінімізація кількості станів скінченного автомата який використовується при аналізі регулярних співвідношень в мережевих IP пакетах.

Методи глибокого аналізу пакетів (DPI) загалом є складними і потребують багато часу, але при цьому є найточнішими. Однією з проблем цих підходів, виключаючи складність, є відносно сильна залежність від ручного створення сигнатур (термів).

Для вирішення цих проблем використовують спрощену систему класифікації [3]. Розглянемо її підхід на прикладі реалізації бібліотеки CUTE [4]. Бібліотека представляє собою систему класифікації з використанням спрощеної системи сигнатур. Замість використання складних і довгих регулярних виразів для ідентифікації протоколу, CUTE опирається на набір попередньо підготовлених термів. Це деякий компроміс між точністю розпізнання та швидкістю роботи. Практичні експерименти показали достатній рівень точності для більшості застосувань, звичайно, дещо збільшилася кількість некласифікованих протоколів. Тестування проводилося з використанням реального трафіку сервіс провайдера і в загальному показало, що ймовірність ідентифікації у випадку помірної (до 15 %) кількості зашифрованого трафіку знаходиться в межах 0,90-0,95.

CUTE автоматично вилучає зважені терми для різних протоколів з тестових перехоплених даних. В залежності від цих зважених термів програма за спеціальним алгоритмом оцінює схожість кожного потоку та відповідність до деякого протоколу, після чого відбувається класифікація потоку. Зазначена властивість надає методу високої ефективності навіть при захопленні декількох початкових байт з кожного потоку або у випадку асиметричності обміну відносно точки моніторингу. Встановивши параметр максимального зміщення у 100 байт можна говорити про точність розпізнання порядку 90 %. Асиметричні або неповні

потоки даних є частим явищем в мережі оператора. Це пояснюється найчастіше наявністю декількох зовнішніх каналів Інтернет і відповідним балансуванням вхідного в мережу трафіку. Збільшуючи кількість термів можна досягти подальшого збільшення точності ціною зниження ефективності. Остаточне рішення щодо достатнього рівня точності має прийматися в кожному окремому випадку з огляду на цілі, які прагне досягти оператор.

Загалом, вказані підходи призводять до суттєвого покращення характеристик класифікатора. Автоматичність самого методу гарантує відсутність створення помилкових регулярних виразів, наявність терму в потоці даних не залежить від порядку розташування термів в пам'яті, тобто гарантується постійна швидкість опрацювання вхідних даних.

3. Аналіз запропонованого методу.

Створення сигнатур і підтримка їх в актуальному стані є затратною задачею, статично скомпоновані сигнатури протоколів втрачають з часом свою точність, це відбувається за рахунок постійного розвитку мережевого стеку протоколів та вдосконаленні схем взаємодії. Запропонований метод автоматичного створення сигнатур є ідеологічним продовженням техніки LCS (Longest Common Subsequence) [5], що проводить синтез регулярного виразу, який може використовуватися як сигнатура. Інакше кажучи, метод намагається виявити найбільш оптимальний регулярний вираз для пошуку збігу в мережевому потоці для подальшої класифікації.

Розглянемо кроки необхідні для створення терму. Спочатку з кожного мережевого пакету довжиною l байт обирається терм деякої довжини t байт, який зустрічається доволі часто в інформаційному потоці (з частотою y). Враховуючи той факт, що навантаження головним чином містить ключовий терм на початку, для їх відділення будемо використовувати символ «|». Його ми будемо додавати на початку терму. Наприклад розглянемо трафік HTTP, який містить запит GET. Перед початком запиту GET напишемо «|», тобто отримаємо «|GET». Наступним кроком буде додавання вагових коефіцієнтів до кожного окремого терму. Використаємо для цього вагову функцію (1). Більшу вагу ми надаємо термам які є унікальними для деякого досліджуваного протоколу. Тобто, терми що зустрічаються в багатьох протоколах отримують меншу вагу, є менш цікавими для класифікації:

$$W_t^p = \begin{cases} \left(\frac{f_t^p}{\sum_{p \in P} f_t^p} \right)^r & f_t^p \geq T \\ 0 & f_t^p < T \end{cases} \quad (1)$$

Параметри p, P, T є набором всіх протоколів, конкретним протоколом та конкретним термом відповідно. Більш того, f_t^p та W_t^p відповідно, означають частоту та вагу терму t в протоколі p . Параметри T і r є параметрами цієї вагової функції. Для всіх унікальних термів функція набуває значення (1).

Останнім кроком є безпосередня класифікація мережевих потоків. Класифікатор слідуючи алгоритму шукає в пакетному навантаженні терми в залежності від їх вагового коефіцієнту. Відповідність потоку до деякого протоколу характеризується середньою вагою термів, що були знайдені в навантаженні. Потім, обирається протокол з найбільшою схожістю. Практичні результати аналізу показали, що використання такого принципу є оптимальним з точки зору об'ємів необхідної оперативної пам'яті.

Алгоритм має два вхідні параметри:

- f - корисне навантаження;
- g набір - процентних зважених термів кожного з відомих протоколів;

Параметр W є вихідним і описується набором значень описаним у формулі (2).

$$W = \{W_{p_1}, W_{p_2}, \dots, W_{p_m}\} \quad (2)$$

Використання тільки основних термів підвищує точність і ефективність методу, оскільки, поза розглядом залишаються терми що були отримані внаслідок помилок передачі чи з пошкоджених пакетів. Використання простого текстового пошуку виконано з метою спрощення розуміння алгоритму та може бути замінено на більш ефективні техніки пошуку, наприклад Aho-Corasick [6].

Лістинг алгоритму наведено на рисунку 1.

Перевірка роботи алгоритму відбувалася наступним чином:

- було зібрано два набори пакетів над якими проводилися тести; Механізм перехоплення описано в [7]. Формат перехоплених даних PCAP. Такий вибір зроблений завдяки широкому розповсюдженню вказаної бібліотеки, а також наявності програмних пакетів для аналізу статистичних розподілів внутрішніх параметрів навантаження [8];

- перший набір використовувався для попереднього створення термів за якими було проведено аналіз, мінімізація кількості станів проводилася згідно алгоритму наведеному на рисунку 1;

- другий набір даних виступав в ролі тестової мережевої взаємодії. Слід зазначити що з розгляду попередньо вилучалися потоки даних протоколів взаємодії, що не були присутні в першому наборі (трейсі).

```

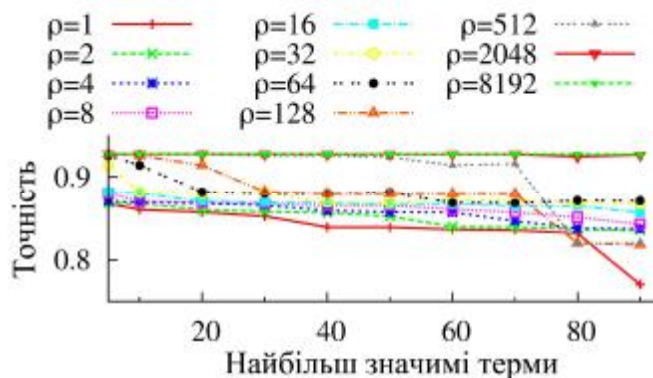
Вхід: f
Вхід: W
Результат: p
max ← -1
p ← ∅
for  $W_p \in W$  do
    sum ← 0; count ← 0;
    for  $(t, w) \in W_p$  do
        if f contain t then
            sum ← sum + w; count ← count + 1;
    if  $\max = \frac{\text{sum}}{\text{count}}$  then
        p ← p;
    else if  $\max < \frac{\text{sum}}{\text{count}}$  then
        p ← p;
         $\max = \frac{\text{sum}}{\text{count}}$ ;
return p;

```

Рис. 1. Алгоритм класифікації на основі зважених термів

Така особливість проведення тестування гарантує мінімізацію хибних спрацювань за рахунок виключення протоколів які не можуть бути розпізнані через їх відсутність в таблиці станів. Використовуючи те саме місце збору пакетів та невеликий проміжок часу між захопленнями, можна звести до мінімуму вказане явище.

Перший експеримент було виконано для перевірки справедливості твердження щодо взаємозалежності параметра r та точності класифікації (рис. 2).

Рис. 2. Залежність точності класифікації від кількості термів ($r \sim 0.8 \div 0.9$).

Існує явна залежність між r та точністю: чим більше r , тим більш унікальні терми, і тим точнішою є класифікація. Кожному значенню r відповідає якесь значення зваженого параметра. Вибір точності на рівні 0.9 зумовлено практичною значимістю такого рівня, так як більшість комерційних систем аналізу не можуть гарантувати більшої точності. З точки зору практичності і можливості застосування це рішення є обґрунтованим.

В експерименті ми використовували перші 256 байт для класифікації потоку. Вибір граничного значення зміщення в основному залежить від профілю трафіку мережі оператора та протоколів що домінують в ній. Провівши аналіз наборів даних для аналізу, було встановлено що середній розмір пакета складає $t = 980$ байт, тому значення граничної довжини терму l було обрано на рівні 256 байт. У попередній роботі [3] було перевірено гіпотезу щодо можливості проведення класифікації за заголовками IP-пакетів, тому використовуючи перші 256 – 40 байт можна визначити більшість протоколів. Більш складні

протоколи типу P2P (DHT, BtSync) потребують складнішого процесу аналізу та будуть по можливості розглянуті в наступних роботах на тему аналізу мережових аномалій. Однією з переваг класифікації по перевірці неповного навантаження є висока швидкодія вказаного методу. Провівши оптимізацію мережевого стеку апаратно-програмного комплексу під керуванням системи LINUX (Debian), а, зокрема, встановивши об'єктивні розміри вхідних черг та оптимізувавши виконання додатку аналізатора з прив'язкою кожного з потоків до окремого ядра, можна отримати пропускну здатність до 10 Гбіт/с. Загалом більш коректною буде оцінка з точки зору кількості проаналізованих пакетів за одиницю часу (pps, packet per second), оскільки на кожен отриманий пакет необхідно реагувати перериванням. Тому є сенс використовувати поллінг (polling) [9] або методи DMA (Direct Memory Access), що й використано в роботі.

Сформулюємо критерій стосовно унікальності терму, який буде використовуватися для пошуку збігу в деякому мережевому протоколі. Слід зазначити, що унікальних термів може бути не більше ніж T . З цього випливає умова:

(-) Умова унікальності (3) має зберігатися в наборі L термів протоколу P_i , якщо буде існувати хоча б один терм t , який не буде входити до L^I набору термів для пошуку збігів в інших протоколах, тобто

$$\forall P_{j(j \neq i)} \exists L^I \in L(P_j), t \in L^I, \text{ таке що, } \forall L \in L(P_i), \exists t \in L \quad (3)$$

Хоча умова (3) на перший погляд виглядає досить строгою, але перевірка практичним підходом показала, що більшість протоколів відповідають їй. Виняток складають протоколи, внутрішня організація яких відповідає принципу overlay (DHT, BtSync), але як вже зазначалося вище, дані протоколи виключені з аналізу зараз. Щоб оптимізувати кількість значимих термів з максимальною ефективністю, виключимо зі списку термів терм t з наступними властивостями:

$$\exists L \in L(P_j), L^I \in L(P_{j(i \neq j)}) t \in L \wedge t \in L^I \quad (4)$$

Маючи хоча б один унікальний терм, кожен набір термів буде містити один або більше термів після виключення (оптимізації). Таким чином можемо сформулювати умову пошуку збігу в мережевому трафіку P_j з точністю $1/T$ визначення протоколу P :

$$\forall P_i, P_{j(j \neq i)} L \in L(P_i) \text{ тоді і тільки тоді, коли } (y \otimes P(L)) | y \in P_j < T \quad (5)$$

Схожий за своїм принципом результат був отриманий у роботі Keralapura [10], але там мова йшла про застосування методу мінімізації правил для систем виявлення вторгнень, з метою зменшення розміру таблиці що містить САМ-структуру ACE (Access List Entry).

Алгоритм має назву MHSP (Minimum Hitting-Set for Protocols), своєю природою він має складність порядку $O(|P|^2)$. Новизна запропонованого в роботі алгоритму полягає у постановці додаткової умови стосовно граничної довжини t аналізованого пакета та вибір його оптимального значення.

4. Висновки.

Використання методу глибокого аналізу мережових пакетів за допомогою представлення регулярних виразів у формі термів з їх подальшою оптимізацією має як переваги так і недоліки. Серйозною перевагою є можливість виконання коду аналізатора на доступному апаратному забезпеченні, необхідно лише виконати оптимізацію налаштувань у відповідності до сервісного профілю мережі оператора. Як саме визначати цей профіль було детально розглянуто в роботі [7] та багатьох інших. Вказана оптимізація дозволяє досліджувати інформаційні потоки на швидкостях до 10 Гбіт/с. Практичне застосування дана технологія має у випадку бажання оператора впливати на потоки даних у своїй мережі базуючись не на звичайних мережових параметрах, а на більш інтелектуальних сервісних моделях взаємодії додатків. Останнім часом цей напрямок набув суттєвого розвитку та прискорення в колах виробників комерційного мережевого програмно-апаратного продукту.

Основним недоліком розглянутої системи є неможливість поки що повноцінно аналізувати деякий прошарок протоколів P2P через особливості їх реалізації. У подальшому планується продовжити роботу з надання підтримки для цих додатків та інтеграції розглянутої системи в комплекс відкритого програмного аналізатора комп'ютерних мереж OpenDPI[11].

Література

1. F. Constantinou Identifying Known and Unknown Peer-to-Peer Traffic / F. Constantinou, P. Mavrommatis // Proc. of Fifth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. – 2006. – С. 93–102
2. T. Bujlow Comparison of Deep Packet Inspection (DPI) Tools for Traffic Classification / T. Bujlow, V. Carela-Espacol, P. Barlet-Ros // Technical Report, Version 3. – 2013. – С. 78-92.

3. Деєв К. С. Аналіз методів та засобів реалізації пакетної фільтрації для глибокого аналізу мережевих пакетів / К. С. Деєв // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №6. – С. 84-90.
4. P. Haffner Automate construction of application signatures / P. Haffner, S. Sen, O. Spatscheck, D. Wang. //Proc. of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Mining network data., 2005. – С. 202.
5. D. Zuev Traffic Classification Using a Statistical Approach. Passive And Active Network Measurement / D. Zuev, A. Moore //6th International Workshop. – 2005. – С. 120-141.
6. Aho Efficient string matching: an aid to bibliographic search / A. Aho, M. Corasick //Communications of the ACM. – 2005. – №18(6):340. – С. 113-137.
7. Деєв К. С. Вивчення характеру взаємодії типу точка-точка для класифікації мережевого трафіку / К. С. Деєв // Автоматизовані системи управління і прилади автоматики. – 2013. – №163. – С. 94-101.
8. M. Roughan Class-of-service mapping for QoS: a statistical signature-based approach to IP traffic classification / M. Roughan, S. Sen, O. Spatscheck, N. Duffield // Proc. of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement., - 2014. - С. 135–148
9. Vivek Gite .Огляд архітектури Linux NAPI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cyberciti.biz/faq/rhel-centos-fedora-debian-configure-rx-polling-mode/>
10. J. Fan Identifying hidden voice and video streams / J. Fan, D. Wu, A. Nucci, R. Keralapura //Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), conf. series. – 2009. – Вип. 7344. – С. 14-21..
11. Luca Deri //Опис бібліотеки OpenDPI. – 2009. – С. 1-12. – Режим доступу: <http://www.opendpi.org/nettools/opendpi/OpenDPI-Manual.pdf>.

References

1. F. Constantinou, P. Mavrommatis “Identifying Known and Unknown Peer-to-Peer Traffic” in Proc. of Fifth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (NCAA ‘06), 2006 pp. 93–102
2. T. Bujlow, V. Carela-Espacol, P. Barlet-Ros “Comparison of Deep Packet Inspection (DPI) Tools for Traffic Classification” in Conference Proceeding Technical Report, Version 3., 2013 pp. 78-92.
3. K. S. Deev, “Analiz metodiv ta zasobiv realizaciji paketnoji filjtraciji dlja ghlybokogho analizu merezhevykh paketiv” Visnyk Vinnycjkogho politekhnichnogho instytutu, Vol. 6, 2014 pp. 84-90
4. P. Haffner, S. Sen, O. Spatscheck, D. Wang “Automate construction of application signatures” in proc. ACM SIGCOMM workshop on Mining network data (ACM 2005), 2005 pp. 202
5. D. Zuev, A. Moore “Traffic Classification Using a Statistical Approach. Passive And Active Network Measurement” in proc. of 6th International Workshop (6WS), 2005 pp. 120-141
6. Aho, M. Corasick “Efficient string matching: an aid to bibliographic search” in proc. Communications of the ACM, Vol. 18(6):340, 2005 pp. 113-137
7. K. S. Deev “Vyvchennja kharakteru vzajemodiji typu tochka-tochka dlja klasyfikaciji merezhevogho trafiku” Avtomatyzovani systemy upravlinnja i prylady avtomatyky, Vol. 163, 2013 pp. 94-101
8. M. Roughan, S. Sen, O. Spatscheck, N. Duffield “Class-of-service mapping for QoS: a statistical signature-based approach to IP traffic classification” in proc. of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement (ACM IM `14), 2014 pp. 135–148
9. Vivek Gite “Linux NAPI architecture” (03/10/2015) – open access <http://www.cyberciti.biz/faq/rhel-centos-fedora-debian-configure-rx-polling-mode/>
10. J. Fan, D. Wu, A. Nucci, R. Keralapura “Identifying hidden voice and video streams” in proc. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), Vol. 7344, 2009 pp. 14-21
11. Luca Deri “OpenDPI library reference” (03/10/2015) – open access <http://www.opendpi.org/nettools/opendpi/OpenDPI-Manual.pdf>.

Рецензія/Peer review : 9.4.2015 р. Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.
Рецензент: д. т. н., проф., Погорілий С. Д.

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ АНАЛОГОВИХ
КЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗІ КОНТРОЛЕРА LOGO**

Запропоновано структуру та програму функціонування мікропроцесорного пристрою діагностування автоматичних аналогових керуючих пристроїв електропривода на базі промислового контролера LOGO.

Ключові слова: керуючий пристрій, діагностика, електричний привод

S.M. BABIY, O.L. TYMOSHENKO
Vinnytsia National Technical University

**A DEVICE FOR AUTOMATIC DIAGNOSTICATION OF
ANALOG ELECTRIC CONTROL DEVICES BASED INDUSTRIAL CONTROLLER LOGO**

Abstract - The aim of the research - improve the quality of diagnostics drives by switching to the diagnostic device structures, which based on fast and reliable industrial controllers.

Usually electric operated under severe conditions and, consequently, exposed to disturbing actions. Particularly sensitive to their actions are analog blocks, which are an integral part of a wide range of drives. Therefore there is a need to monitor the technical condition of the equipment. To build appropriate structures device diagnostic apparatus is widely used mathematical sequences. Its methodology involves obtaining minimized system sequential expressions that describe the operation of the device diagnostics. The paper presents a system of sequential use of expressions for writing programs relevant control microprocessor devices diagnosis.

Thus, structure and operation of the program diagnosing microprocessor automatic control devices electric analog based industrial controller LOGO is proposed. Using the proposed approach can significantly reduce the time spent on the implementation of ready-to-use device diagnostics.

Keywords: controlling device, diagnostics, electric drive

Постановка проблеми

Зазвичай електроприводи (ЕП) експлуатуються у важких виробничих умовах і, як наслідок, піддаються впливу зовнішніх збурюючих дій. Слід зауважити, що особливо чутливими до збурюючих дій є аналогові блоки, які є невід'ємною складовою широкого кола ЕП. Як наслідок, відбувається поступова або різка зміна параметрів ЕП, що в кінцевому випадку призводить до небажаних наслідків. Тому виникає необхідність слідкувати за технічним станом такого обладнання не лише під час планових перевірок, але і безпосередньо при його експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Однією із праць присвячених вирішенню питання моніторингу технічного стану ЕП є робота [1], у якій запропоновано математичну модель діагностування автоматичних аналогових керуючих пристроїв (АКП) ЕП, яка представлена системою рівнянь (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} i = \overline{1, n}, \\ x_i \rightarrow \text{const } 1, \quad \text{якщо} \quad \left\{ \begin{array}{l} x_{i_1} = 1, \\ x_{(i-1)_1} \leq x_{(i-1)_1 \text{доп}_g}, \end{array} \right. \\ x_i \rightarrow \text{const } 0, \quad \text{якщо} \quad \left\{ \begin{array}{l} x_{i_1} = 0, \\ x_{(i-1)_1} \geq x_{(i-1)_1 \text{доп}_n}, \end{array} \right. \\ x_i \rightarrow \text{var}(\text{const } 1), \quad \text{якщо} \quad \left\{ \begin{array}{l} x_{i_2} \rightarrow m, \quad m \geq q, \\ x_{(i-1)_2} \leq x_{(i-1)_2 \text{доп}_g}, \end{array} \right. \\ x_i \rightarrow \text{var}(\text{const } 0), \quad \text{якщо} \quad \left\{ \begin{array}{l} x_{i_2} \rightarrow m, \quad m \geq q, \\ x_{(i-1)_2} \geq x_{(i-1)_2 \text{доп}_n}, \end{array} \right. \\ k = 1, \quad v = 1, \end{array} \right. \quad (1)$$

де n – кількість вимірювальних каналів згідно з числом діагностованих автоматичних АКП ЕП;

x_i – значення діагностичного параметра на виході i -го вимірювального каналу;

x_{i_1} – значення діагностичного параметра в i -му вимірювальному каналі по відношенню до граничного поля допуску (ГПД);

$x_{(i-1)_1}$ – значення діагностичного параметра в $(i-1)$ вимірювальному каналі по відношенню до ГПД;

$x_{(i-1)_1 \text{доп}_g}$ – верхнє допустиме значення діагностичного параметра в $(i-1)$ вимірювальному каналі

по відношенню до ГПД;

$x_{(i-1)_1 \text{ доп}_n}$ – нижнє допустиме значення діагностичного параметра в $(i-1)$ вимірювальному каналі

по відношенню до ГПД;

x_{i_2} – значення діагностичного параметра в i -му вимірювальному каналі по відношенню до

основного поля допуску (ОПД);

$x_{(i-1)_2}$ – значення діагностичного параметра в $(i-1)$ вимірювальному каналі по відношенню до

ОПД;

$x_{(i-1)_2 \text{ доп}_e}$ – верхнє допустиме значення діагностичного параметра в $(i-1)$ вимірювальному каналі

по відношенню до ОПД;

$x_{(i-1)_2 \text{ доп}_n}$ – нижнє допустиме значення діагностичного параметра в $(i-1)$ вимірювальному каналі

по відношенню до ОПД;

m – кількість перевищень діагностичним параметром меж ОПД протягом часу, який відведено на діагностування одного вимірювального каналу;

q – граничне значення, яке визначає необхідну кількість перевищень діагностичним параметром меж ОПД (для виявлення несправності) протягом часу, що відведений на діагностування одного вимірювального каналу;

k – сигнал з виходу сенсора комутації, що свідчить про положення комутаційного апарата, яким подається напруга живлення;

v – сигнал з виходу сенсора живлення системи керування ЕП.

Перше рівняння системи (1) описує випадок, коли діагностичний параметр в i -му вимірювальному каналі перевищив верхню межу ГПД і не змінюється при зменшенні або знятті вхідного сигналу (рис. 1, а).

Друге рівняння системи (1) – діагностичний параметр в i -му вимірювальному каналі вийшов за нижню межу ГПД і не змінюється при підвищенні вхідного сигналу (рис. 1, б).

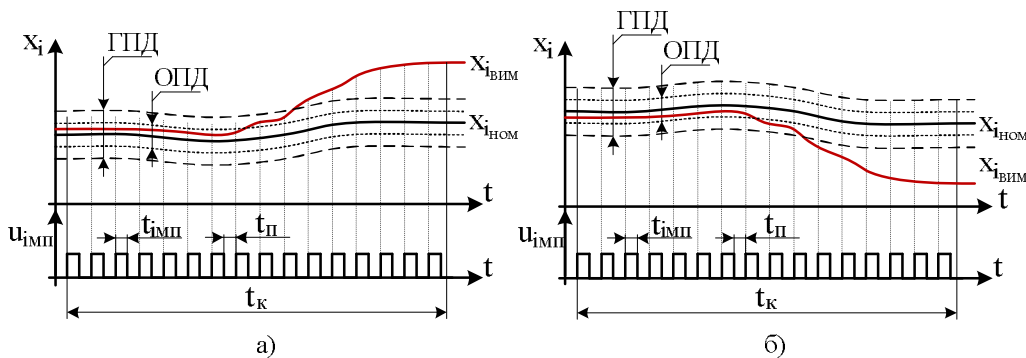


Рис. 1. Вихід діагностичного параметра за верхню (а) та нижню (б) межу ГПД

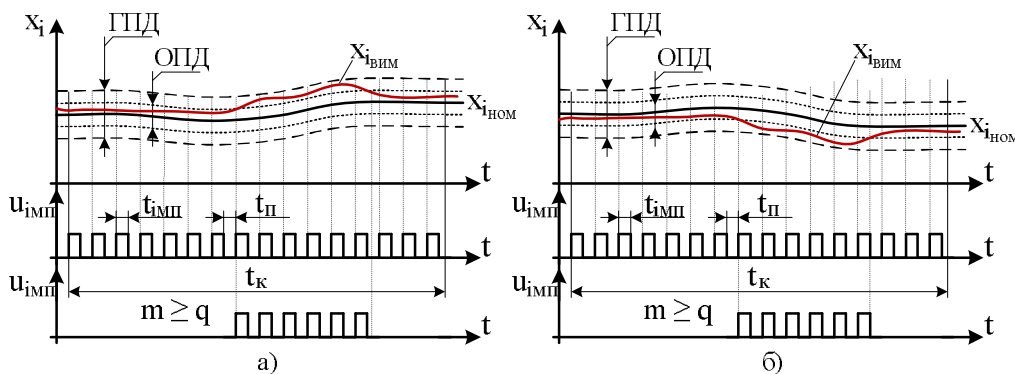


Рис. 2. Вихід діагностичного параметра за верхню (а) та нижню (б) межу ОПД

Третє рівняння системи (1) – діагностичний параметр в i -му вимірювальному каналі знаходиться в межах ГПД, але при цьому перевищує m разів верхню межу ОПД протягом часу, що відведений на діагностування одного вимірювального каналу (рис. 2, а).

Четверте рівняння системи (1) – діагностичний параметр в i -му вимірювальному каналі знаходиться в межах ГПД, але при цьому виходить m разів за нижню межу ОПД протягом часу, що відведений на діагностування одного вимірювального каналу (рис. 2, б).

Постановка задачі дослідження

Підвищення якості діагностування ЕП за рахунок переходу до структур пристроїв діагностування, побудованих на основі промислових контролерів, які згідно [2, 3] є більш придатними для створення швидкодіючих та надійних технічних систем в цілому і пристроїв діагностування зокрема.

Основні матеріали досліджень

Використовуючи математичний апарат секвенцій [4] для математичної моделі (1) було розроблено граф функціонування блоку прийняття рішення пристрою діагностування автоматичних АКП ЕП (рис. 3).

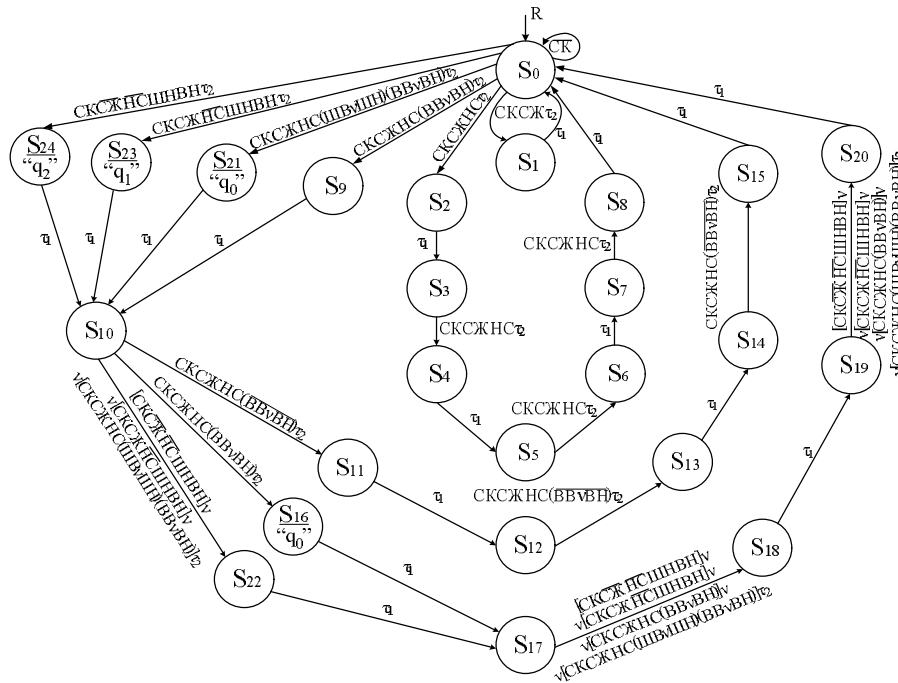


Рис. 3. Граф функціонування блоку підрахунку та прийняття рішень пристрою діагностування автоматичних АКП ЕП

При побудові графа функціонування використана така система позначень: $\overline{ШВ}$ ($\overline{ШН}$) – діагностичний параметр перевищив верхню межу (вийшов за межі нижньої) ГПД; $\overline{ВВ}$ ($\overline{ВН}$) – діагностичний параметр перевищив верхню межу (вийшов за межі нижньої) ОПД; $\overline{СК}$ – сигнал сенсора комутації, який спрацьовує при пуску привода і показує положення комутаційного апарата; $\overline{СЖ}$ – сигнал сенсора живлення, який відслідковує стан кіл живлення елементів системи керування; $\overline{НС}$ – сигнал формувача сигналу, який відслідковує наявність у вимірювальному каналі сигналу відмінного від нульового рівня; символи $\overline{ШВ}$, $\overline{ШН}$, $\overline{ВВ}$, $\overline{ВН}$, $\overline{СК}$, $\overline{СЖ}$, $\overline{НС}$ свідчать про наявність нульового рівня сигналу на виходах відповідних блоків, тобто про невиконання зазначеної умови; $T_1 \div T_{10}$ – елементи пам'яті (тригери), які фіксують стани системи; $\tau_1(\tau_2)$ – тривалість імпульса (паузи) формувача імпульсів, який синхронізує роботу блоку аналізу та прийняття рішення пристрою діагностування; q_0 , q_1 та q_2 – вихідні сигнали, які характеризують стан об'єкта діагностування; $S_i, i = 0, 24$ – стани системи. Логічна зміна виходу: $q_0 = 1$ означає наявність несправності типу *const 1* або *const 0*; $q_1 = 1$ означає наявність обриву в вимірювальному каналі; $q_2 = 1$ означає наявність обриву кіл живлення елементів системи керування ЕП.

Використовуючи властивості секвенцій для розробленого графа функціонування отримано мінімізовану систему секвенцій (2), яка аналітично описує роботу блоку аналізу та прийняття рішення пристрою діагностування автоматичних АКП ЕП.

$$\begin{cases}
 CK \tau_2 \bar{T}_1 \vdash T_1, \\
 \tau_1 T_1 \vdash \bar{T}_1, \\
 (BB \vee BH) \bar{T}_3 \bar{T}_4 CЖ \tau_1 T_1 \vdash T_2, \\
 [(BB \vee BH) \bar{T}_3 \bar{T}_4 CЖ \tau_1 T_1] [T_2 \tau_1] \vdash T_3, \\
 [\bar{T}_4 3\tau_1] [(ШВ \vee ШН) \vee T_3] [CЖ \tau_1 (T_8 \vee \bar{R})] \vdash T_4, \\
 T_4 \tau_1 \vdash \bar{T}_4, \\
 \bar{T}_4 CЖ \tau_1 T_1 \vdash T_5, \\
 (T_5 \tau_1) (\bar{T}_4 CЖ \tau_1 T_1) \vdash T_6, \\
 (T_6 \tau_1) (\bar{T}_4 CЖ \tau_1 T_1) \vdash T_7, \\
 (T_7 \tau_1) (\bar{T}_4 CЖ \tau_1 T_1) \vdash T_8, \\
 R \vee T_8 \vdash \bar{T}_2 \bar{T}_3 \bar{T}_5 \bar{T}_6 \bar{T}_7 \bar{T}_8, \\
 \bar{T}_9 3\tau_1 [HC \vee (T_8 \vee \bar{R})] \vdash T_9, \\
 T_9 \tau_1 \vdash \bar{T}_9, \\
 [\bar{T}_{10} 3\tau_1 CЖ] \vdash T_{10}, \\
 T_{10} \tau_1 \vdash \bar{T}_{10}, \\
 T_4 \bar{T}_9 \bar{T}_{10} \vdash "q_0", \\
 T_4 T_9 \bar{T}_{10} \vdash "q_1", \\
 T_4 T_9 T_{10} \vdash "q_2".
 \end{cases} \quad (2)$$

Отриману мінімізовану систему секвенцій (2) можна використати не лише для синтезу структури пристрою діагностування, побудовану на простих логічних елементах, що і було зроблено у роботі [5], але і як основу для написання програми функціонування промислових мікроконтролерів [3], наприклад, LOGO 12/24 RC фірми Siemens. Таким чином, одразу отримується готовий до експлуатації пристрій діагностування уже на стадії процедури синтезу, що суттєво зменшує затрати часу на його реалізацію.

Програмування здійснюється мовою FBD (Function Block Diagram), яка являє собою функціональний план і відображає програму у вигляді графічного представлення, що нагадує логічні схеми. Основними елементами мови FBD є звичайні логічні елементи та деякі спеціальні, побудовані на їх основі.

Отримана таким чином програма роботи пристрою діагностування зображена на рисунку 4, при цьому окремі частини структури вихідної програми було замінено на аналогічні за функціональними можливостями блоки Logo! Soft Comfort.

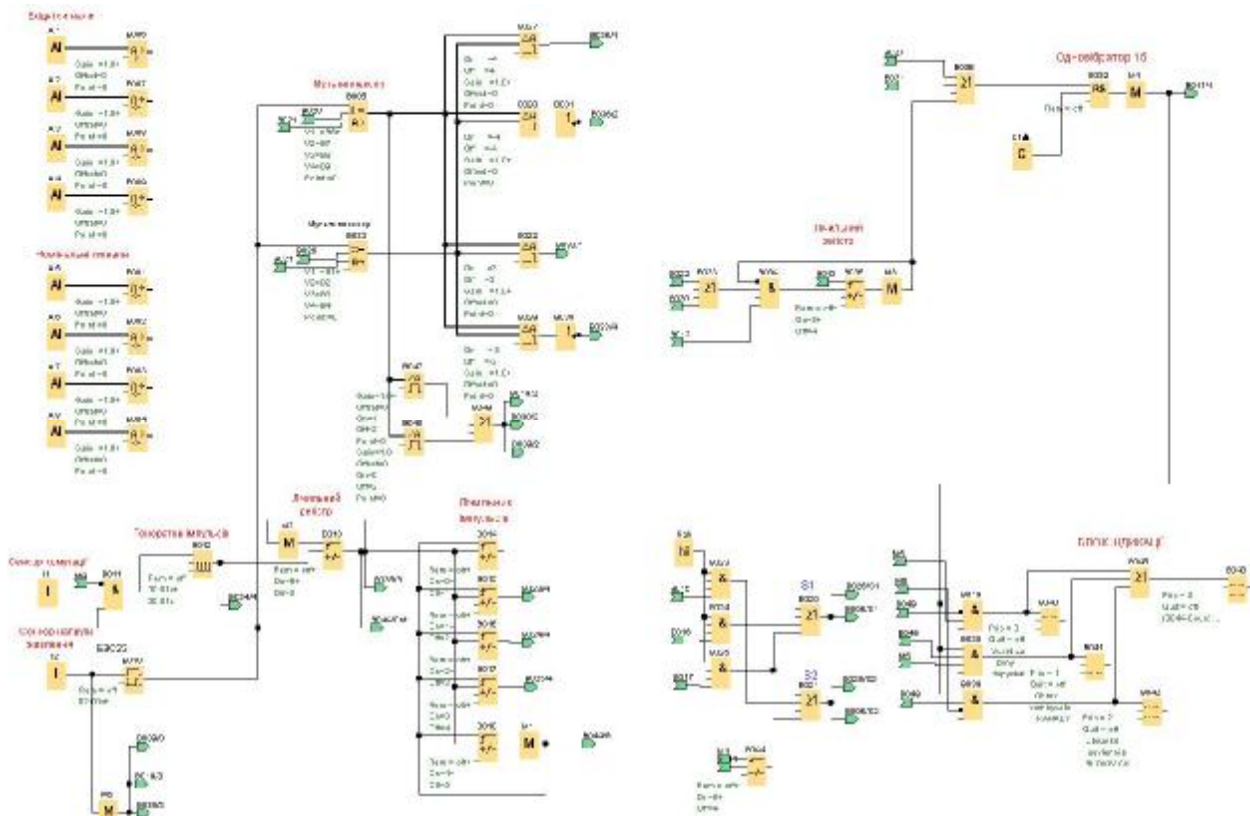


Рис. 4. Програма функціонування пристрою діагностування (мова програмування FBD)

Структурну схему підключення мікропроцесорного пристрою діагностування автоматичних АКП ЕП реалізовану на базі промислового контролера LOGO 12/24 RC, показано на рисунку 5.

Контролер містить у своїй структурі аналогові і дискретні входи та виходи, релейні виходи, вбудований дисплей, комунікаційний порт для зв'язку з персональним комп'ютером. Окрім того, в залежності від складності поставлених задач, є можливість легко нарощувати конфігурацію контролера, забезпечується зв'язок з зовнішньою мережею для здійснення обміну даними з іншими пристроями.

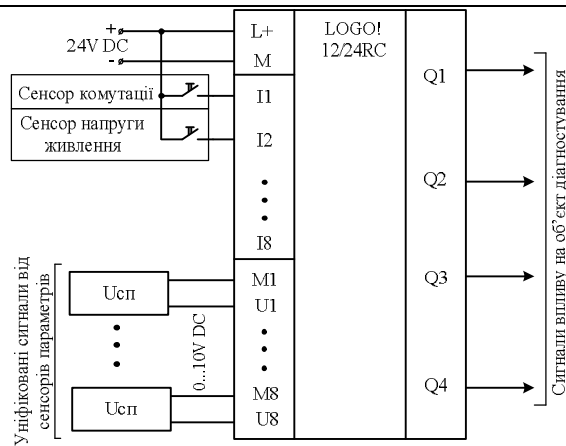


Рис. 5. Схема підключення мікропроцесорного пристрою діагностування

Висновки

1. Запропоновано структуру мікропроцесорного пристрою діагностування автоматичних АКП ЕП на базі промислового контролера LOGO 12/24 RC.

2. На базі мінімізованої системи секвенційних виразів, яка описує функціонування пристрою діагностування, було отримано програму функціонування пристрою діагностування АКП ЕП. Такий підхід дозволяє суттєво скоротити затрати часу на реалізацію готового до використання пристрою діагностування.

Література

1. Грабко В. В. Синтез структури системи для діагностичного контролю систем керування / В. В. Грабко, С. М. Бабій // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – № 2. – С. 95–99.
2. Бабешко Е. В. Анализ возможностей современных контроллеров для разработки отказоустойчивых систем / Е. В. Бабешко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 7 (19). – С. 36–39.
3. Бабій С. М. До питання використання програмованих логічних контролерів для вирішення задач технічного діагностування / С. М. Бабій, В. В. Петрусь // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Najnowsze badania naukowe. Teoria, praktyka. (30.03.2015 - 31.03.2015) - Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2015. – 76 str. – S. 39-42. – Zbiór raportów naukowych. Wykonane na materiałach Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej Konferencji 30.03.2015 - 31.03.2015 roku. Poznań.
4. Захаров В. Н. Автоматы с распределенной памятью / В. Н. Захаров. – М. : Энергия, 1975. – 136 с.
5. Бабій С. М. Синтез структури пристрою діагностування трактів керування в системах електричного привода / С. М. Бабій // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Вип. 4/2008 (51), частина 2. – С. 61–65.

References

1. Grabko V. V., Babiy S. M. The Synthesis of the system structure for the control systems diagnostic monitoring, Measuring and computing in technological processes, 2006, No. 2, pp. 95–99.
2. Babeshko E. V. Analysis of modern controllers opportunities for fault-tolerant systems development, Radio electronic and computer systems, 2006, No. 7 (19), pp. 36–39.
3. Babiy S. M., Petrus V. V. Revisiting the programmable logic controllers use for technical diagnostics tasks solving: Zbiór raportów naukowych. «Inżynieria i technologia. Najnowsze badania naukowe. Teoria, praktyka», Warszawa, Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2015, pp. 39–42. – Zbiór raportów naukowych. Wykonane na materiałach Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej Konferencji 30.03.2015 – 31.03.2015 roku. Poznań.
4. Zakharov V. N. The Automats with distribute memory. Moscow, Energy, 1975, 136 p.
5. Babiy S. M. The Synthesis of the structure of the control paths diagnosing in the electrical drive systems, Bulletin of the Kremenchug State Polytechnic University Mykhaylo Ostrogradskiy, 2008, Vol. 4 (51), part 2, pp. 61–65.

Рецензія/Peer review : 21.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Кутін В. М.

ЗАСІБ РОЗПОДІЛУ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ

В статті представлено реалізацію засобу розподілу доступу до інформації комп'ютерної системи за допомогою "Spartan-3 Starter Kit", що містить ПЛМ Spartan-3 обсягом 200 тисяч логічних елементів. Даний засіб побудований на основі запропонованого автором методу на основі нечіткої логіки. Дослідження синтезованої структурної схеми запропонованого засобу підтвердили його працездатність та можливість застосування у сучасних комп'ютерних системах з метою розподілу доступу до інформаційних ресурсів.

Ключові слова: захист інформації, нечітка система, HDL-модель, ПЛМ Spartan-3.

L.O. DUBCHAK

Ternopil National Economic University

MEANS OF ACCESS DISTRIBUTION TO COMPUTER SYSTEMS' INFORMATION RESOURCES

Abstract – the aim of this article is the development and researching of means of access distribution to the information resources of the computer system.

For the construction of means of access distribution the fuzzy system based on the classic mechanism of fuzzy conclusion of Mamdani is offered. However, this method is quicker due to dividing of all process of working of fuzzy data into the stages of studies and exploitation. The means of access distribution that works on the offered method are realized by means of "Spartan - 3 Starter Kit", that contains 200 thousand logical elements. Realization is carried out in language of VHDL by facilities of environment of ISO of a 10.3 planning of firm Xilinx.

Undertaken researching confirmed a capacity and acceptable fast-acting of the worked out means of access distribution to the informative resources in computer system.

Keywords: information security, fuzzy system, HDL-model, Spartan-3.

Вступ

Основними критеріями працездатності комп'ютерної системи є висока продуктивність, оптимальні затрати пам'яті та стійкість до атак зловмисника.

Будь-яка комп'ютерна система може бути захищена від активних атак зловмисників, які можна виявити в процесі експлуатації завдяки відомим заходам політики безпеки [1]. Проте, існує також можливість виникнення пасивних атак (атака часового аналізу чи аналізу енергоспоживання), які можуть здійснюватись віддалено і тому їх важко виявити [2, 3].

Комп'ютерна система при передачі інформації використовує мережу для здійснення доступу клієнтів. Таку мережу передачі даних можна умовно розділити на захищену та незахищену частини.

У незахищеній частині мережі клієнти можуть бути випадковими, тому вони не є надійними для сервера з точки зору безпеки, тобто є велика ймовірність існування зловмисника. Крім того, ця частина мережі, як правило, не захищена від збоїв внаслідок впливів зовнішнього середовища і є відкритою для проведення всіх видів сучасних атак на реалізацію.

У захищеній частині мережі клієнти вважаються надійними і, завдяки політиці безпеки, виключається існування внутрішнього зловмисника. Проте в цій частині мережі все-таки залишається можливість проведення пасивної атаки часового аналізу [2].

Сервер комп'ютерної системи можна умовно поділити на підсистему ідентифікації клієнта, командну підсистему та блок оброблення інформації.

Підсистема ідентифікації клієнта подає на блок оброблення інформації дані про необхідний рівень стійкості до часового аналізу, враховуючи усі дані про користувача.

Клієнти мережі відомі серверу по IP-адресі і, враховуючи «стаж» користування мережею, мають свій рівень довіри, що можна задати ймовірністю збоїв при передачі пакетів інформації.

Отже, якщо клієнт є новим для даної системи або має рівень довіри дуже низький, то необхідний рівень стійкості до часового аналізу повинен бути максимальним, тобто, наприклад, рівним 1. І навпаки, для клієнта з дуже високим рівнем довіри значення стійкості може прямувати до 0, що забезпечить підвищення швидкодії системи.

Щодо незахищеної частини мережі, то можна застосувати відомі рекомендації стосовно підвищення стійкості до часового аналізу [2].

Командна підсистема сервера подає на блок оброблення інформацію про саму комп'ютерну систему, тобто допустимі затрати пам'яті та необхідний рівень продуктивності.

Для захисту інформації у мережі необхідно оптимально вибрати метод піднесення до степеня за модулем для здійснення шифрування інформації чи проведення аутентифікації клієнта за допомогою криптоалгоритму RSA. Це завдання вирішує блок оброблення інформації, побудований на основі нечіткої логіки, а саме, на механізмі нечіткого висновку Мамдані, описаному у [4]. Він опрацьовує вхідні значення продуктивності, затрат пам'яті та стійкості до часового аналізу і подає оптимальний у кожному випадку метод модулярного експоненціювання на командну підсистему, яка в свою чергу, застосовує його для шифрування інформації. Основною перевагою цього блоку є те, що він працює в режимі реального часу, що забезпечує вищу

стійкість системи від атак зломисника, оскільки він не буде достовірно знати алгоритму шифрування [5-7].

Блок оброблення інформації на основі нечіткої логіки є основою системи захисту комп'ютерної системи. На його вхід поступають критерії вибору методу модулярного експоненціювання, серед яких необхідний рівень стійкості до часового аналізу, продуктивності криптосистеми та допустимі затрати пам'яті сервера. Вхідні нечіткі дані опрацьовуються підсистемою оптимального вибору методу піднесення до степеня за модулем на основі механізму нечіткого висновку за механізмом Мамдані. Виходом блоку оброблення інформації є метод модулярного експоненціювання, що забезпечує оптимальну конфігурацію системи захисту відносно значень вхідних критеріїв вибору.

Метод оптимального вибору алгоритму модулярного експоненціювання

На блок оброблення інформації сервера системи захисту КС поступає нечітка інформація про необхідний рівень продуктивності та стійкості до часового аналізу, а також про допустимі затрати пам'яті. Система в режимі реального часу опрацьовує ці дані за допомогою відомого алгоритму нечіткого висновку Мамдані, як це описано вище.

Детальний опис та реалізація запропонованого методу оптимального вибору алгоритму модулярного експоненціювання засобами Fuzzy Logic Toolbox середовища MATLAB подані в [8].

Основний недолік нечіткого висновку, побудованого на класичному механізмі Мамдані, полягає в тому, що для будь-яких вхідних даних необхідно опрацьовувати усю базу правил. Такий шлях оброблення нечітких даних знижує швидкість системи та вимагає великих затрат пам'яті, тому варто вдосконалити метод вибору методу модулярного експоненціювання [9], що базується на класичному методі Мамдані, який би задовольняв вимоги до швидкодії.

Суть запропонованого методу вибору методу піднесення до степеня за модулем полягає в тому, що процес оброблення вхідної нечіткої інформації розділено на етапи навчання та експлуатації.

Під час навчання засобу оброблення нечіткої інформації визначено області функцій належності виходу для кожного з правил.

Під час експлуатації спочатку відбувається порівняння вхідних даних зі значеннями функцій належності виходу у визначених базою правил областях пам'яті, де зберігаються значення згаданих функцій належності виходу, відповідних до кожного правила нечіткого висновку. Далі відсікаються значення функцій належності виходу, які перевищують вхідні дані. Потім вибираються мінімальні значення функцій належності виходу, отриманих після відсікання, і будується з цих мінімальних значень відповідна фігура. Останньою операцією методу оброблення нечітких даних є пошук центра ваги фігури, отриманої в результаті додавання відсічених функцій належності виходу [10].

Порівняння операцій запропонованого методу оброблення нечіткої інформації та класичного механізму Мамдані під час експлуатації наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Операції з оброблення нечіткої інформації

№ п/п	Операції нечіткого висновку за класичним механізмом Мамдані	Операції нечіткого висновку запропонованого методу	
		Співпадаючі операції запропонованого методу	Нові операції запропонованого методу
1	Порівняння вхідних даних зі значеннями функцій належності входів	–	Порівняння вхідних даних зі значеннями функцій належності виходів у відповідних областях ПЗП
2	Знаходження найменшого значення функцій належності входів щодо кожного з входів, які відповідають базі правил	–	–
3	Відсікання на осі ординат функцій належності виходу значень, які перевищують значення, знайдені в п. 2	–	Відсікання на осі ординат функцій належності виходу в усіх відповідних областях багатоканального блоку пам'яті значень, які перевищують значення, знайдені в п. 1
4	Знаходження серед відсічених функцій належності виходу тих, що мають максимальну амплітуду	–	Знаходження серед відсічених функцій належності виходу у всіх відповідних областях багатоканального блоку пам'яті тих, що мають мінімальну амплітуду
5	Знаходження суми знайдених в п. 4 значень відсічених функцій належності виходу, що утворює кінцеву фігуру	Знаходження суми знайдених в п. 4 значень відсічених функцій належності виходу, що утворює кінцеву фігуру	–
6	Знаходження центра ваги отриманої в п. 5 фігури	Знаходження центра ваги отриманої в п. 5 фігури	–

Як видно з таблиці 1, всі операції пропонованого методу близькі до операцій класичного механізму Мамдані і за складністю не перевищують їх. Однак кількість операцій у пропонованому методі менша, що спричиняє зростання його швидкодії. Зменшення кількості операцій зумовлено тим, що на етапі навчання (який передуює етапу експлуатації) визначено області функцій належності виходу для кожного з правил. Результати записано у відповідні області багатоканального блоку пам'яті, звідки вони вибираються при виконанні операцій пп. 3, 4 таблиці 1. Така попередня підготовка власне й дозволяє уникнути операції, передбаченої в п. 2 методу Мамдані.

Реалізація даного методу опрацювання нечітких даних дозволяє здійснити розподіл доступу до інформаційних ресурсів комп'ютерної системи.

На етапі навчання засобу реалізації пропонованого методу оброблення нечітких даних, відповідно до областей функцій належностей входів та вхідних даних, однозначно визначаються області функцій належності виходу (тобто відповідних до цих функцій належності виходу методів модулярного експоненціювання) згідно бази правил нечіткого висновку Мамдані. Отримані значення, які відповідають ординатам визначених функцій належності виходу, записуються у відповідних областях багатоканального блоку пам'яті.

На етапі експлуатації засобу, коли задані значення вхідних даних, опрацьовуються лише ті області функцій належності виходу, які відповідають записаним областям функцій належностей входів згідно бази правил нечіткого висновку.

Реалізація запропонованого засобу розподілу доступу

Дослідження ефективності роботи пропонованого засобу розподілу доступу за описаним вище методом здійснено за допомогою "Spartan-3 Starter Kit", що містить ПЛМ Spartan-3 обсягом 200 тисяч логічних елементів [11]. Реалізацію здійснено на мові VHDL засобами середовища ISO 10.3 проектування фірми Xilinx. З цією метою проект засобу розподілу доступу на основі нечіткої логіки розділено на 3 основні модулі – модуль реалізації блоку керування (Control Unit), блоку обробки нечіткої інформації (Processing Unit) та блоку знаходження центра ваги, тобто здійснення нечіткого висновку (ROM). Структурна схема спроектованого засобу подана на рисунку 1.

За цією схемою входи data_in_0, data_in_1 та data_in_2 відповідають вхідним значенням продуктивності, стійкості до часового аналізу та допустимих затрат пам'яті, відповідно. Ці значення поступають безпосередньо з сервера, де вони попередньо обробляються. Вхід start_processing та вихід end_processing здійснюють дозвіл на обробку нечітких даних та завершення роботи засобу, відповідно. Виходи блоку Control Unit address_mem, K2 і K3 позначають адресу та керуючі сигнали, що є виходами блоку керування сервера. Сигнал wr_en здійснює дозвіл на запис значень у регістри пам'яті сервера.

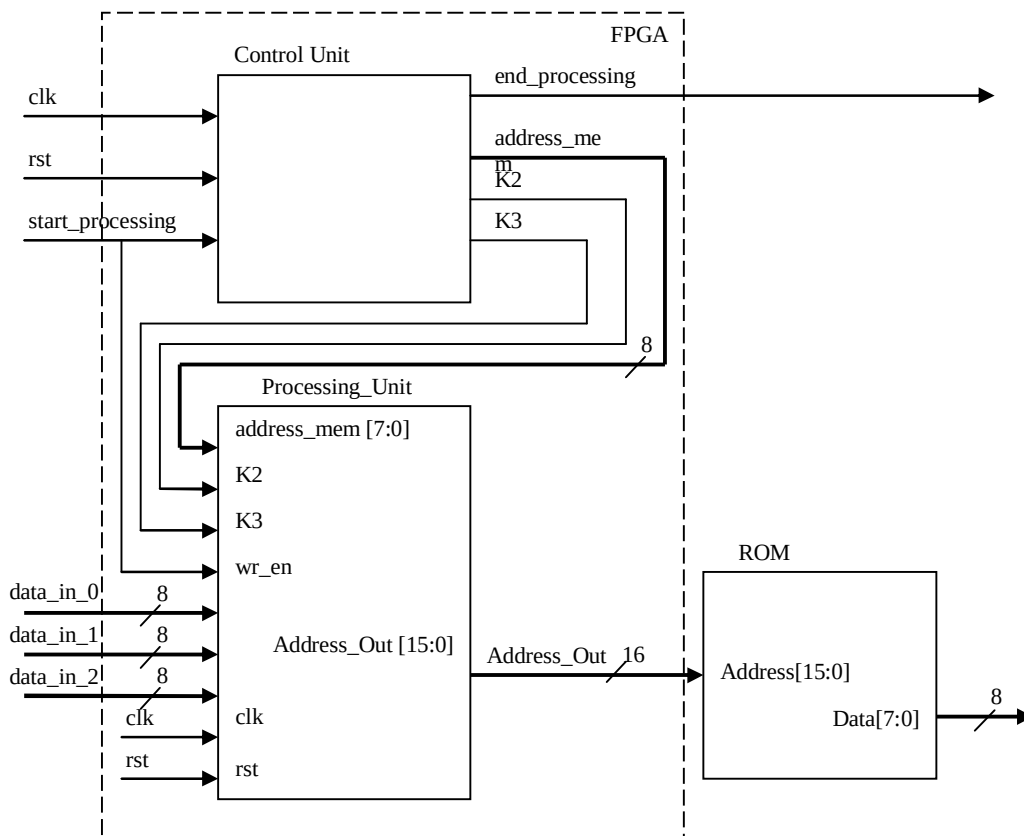


Рис. 1. Структурна схема засобу розподілу доступу на основі нечіткої логіки

Структурна схема блоку керування Control Unit подана на рисунку 2. У цій схемі RS_FF відповідає тригеру, Counter_1 та Counter_2 – лічильникам, відповідно. Logical circuits виконує роль дешифратора, виходами якого є керуючі сигнали. Виходом блоку Parallel_Reg є код адреси набору значень функцій належності входу.

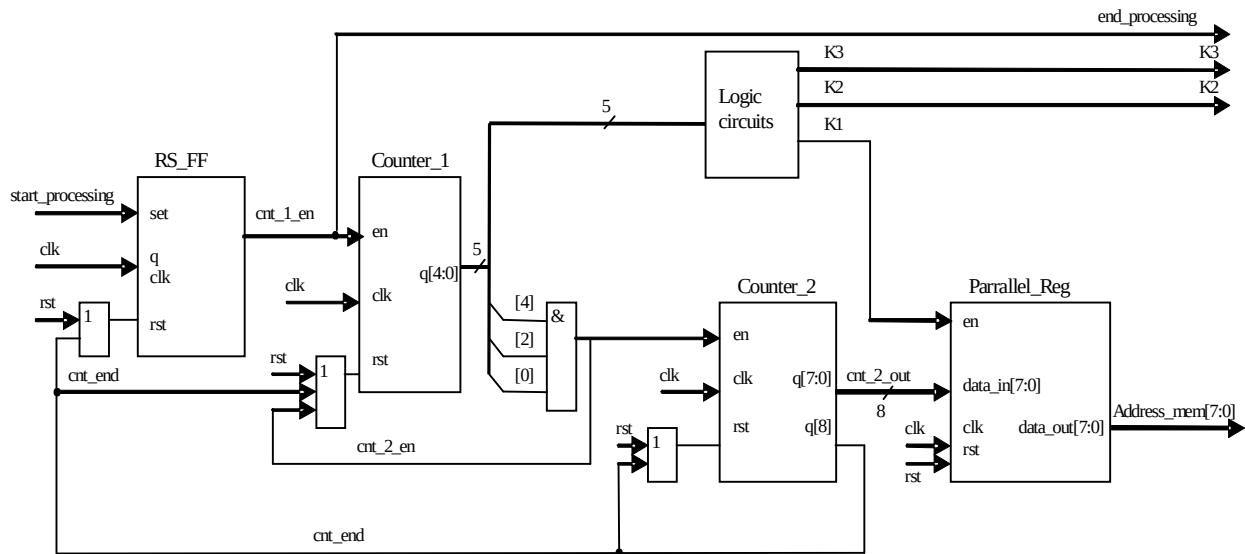


Рис. 2. Структурна схема блоку керування

В загальному HDL-проект засобу розподілу доступу шляхом вибору методу модулярного експоненціювання складається з наступних модулів:

- control unit – блок керування (див. рис. 1);
- memory unit – модуль виводу коду адреси запису даних у постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП);
- compare cor – модуль порівняння вхідних даних із даними, що зберігаються в ПЗП;
- adder – модуль роботи суматора;
- min-operand – знаходження мінімального значення;
- multiplier – модуль виконання множення;
- parallel_reg – модуль виводу коду адреси набору значень функцій належності входу (див. рис. 2);
- modular_exponentiation – модуль знаходження методу модулярного експоненціювання;
- processing unit – блок опрацювання даних.

Результати симуляції роботи засобу розподілу доступу в комп'ютерних системах на основі нечіткої логіки на базі налагоджувальної плати Spartan-3 Starter Kit (xc3s200-4-ft256) подані в таблиці 2.

Таблиця 2

Витрати на реалізацію засобу	
Параметр	Значення
Апаратні затрати	
Кількість слайдів	121 з 1920 (6%)
Кількість тригерів	103 з 3840 (2%)
Кількість 4-входових LUT, з них в якості ПЗП	549 з 3840 (14%), 384
Кількість ліній вводу-виводу	44
Часовий аналіз	
Мінімальний період виконання	32.053ns
Максимальна частота	31.198MHz
Час затримки у логічних схемах засобу	20.023ns (62,5 %)
Час проходження (затримки) у лініях зв'язку та вхідних і вихідних шинних формувачах	12.030ns (37,5 %)

Аналіз таблиці 2 показує, що в загальному апаратні затрати прийнятні для застосування пропонованого засобу в комп'ютерних системах. При цьому доцільно апаратно реалізувати в цій же ПЛМ інші вузли, що відносяться до системи захисту.

Висновки

У даній статті запропонована структура сервера комп'ютерної мережі, що дає можливість

забезпечити оптимальну його роботу шляхом розподілу доступу до інформаційних ресурсів.

Автором також описано метод оброблення нечітких даних для налаштування сервера комп'ютерної системи, який забезпечує його вищу швидкодію, ніж класичний механізм нечіткого висновку Мамдані.

Крім того, синтезовано структурну схему засобу визначення методу модулярного експоненціювання та проведено дослідження його роботи, що підтвердили його працездатність та можливість застосування у комп'ютерних системах з метою розподілу доступу до інформаційних ресурсів.

Література

1. Васильцов І.В. Атаки спеціального виду на криптопристрої та методи боротьби з ними / І.В.Васильцов ; за ред. В.П.Широчина. – Кременець: Видавничий центр КОГПІ, 2009. – 264 с.
2. Васильцов І.В. Методи захисту проти атак спеціального виду / І.В.Васильцов, Л.О.Дубчак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – №5. – С.174-182.
3. Quisquater J.-J. Side Channel Attacks [Електронний ресурс] / J.-J.Quisquater, F.Koeune.// State-of-the-art regarding side channel attacks: report, October, 2010. – 2010. – 47 р. - Режим доступу до звіту: http://www.ipa.go.jp/security/enc/CRYPTREC/fy15/doc/1047_Side_Channel_report.pdf
4. Штовба С.Д. Обеспечение точности и прозрачности нечеткой модели Мамдани при обучении по экспериментальным данным / С.Д.Штовба // Проблемы управления и информатики. – 2007. – №4. – С. 102–114.
5. Петров А.О. Принципи проектування та оцінки систем захисту інформації в мережах загального користування / А.О.Петров // Інформаційна безпека. – 2011. – №1(5). – С.49-56.
6. Patent US 2010/0177887A1, Int.Cl. H04L9/28. Montgomery-based modular exponentiation secured against hidden channel attacks / M.Ciet, B.Feix; Gemalto SA (FR). – № 12/666,892; заявл. 02.05.2008; опубл. 15.07.2010.
7. Patent US 7,020,281B2, Int.Cl. H04L9/00. Timing attack resistant cryptographic system / A.Vadekar, R.J.Lambert; Certicom Corp. (CA). – № 09/761,700; заявл. 25.10.2001; опубл. 28.03.2006.
8. Дубчак Л.О. Модель апаратного засобу вибору методу модулярного експоненціювання / Л.О.Дубчак // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – 2011. – Т. 2, вип. 4. – С.44-48.
9. Дубчак Л.О. Спосіб вибору методу модулярного експоненціювання для побудови оптимальної системи захисту конфіденційної інформації / Л.О.Дубчак, Л.М.Тимошенко, Т.О.Яремчук // Інформаційна безпека. – 2011. - №1(5). – С.112-116.
10. Дубчак Л.О. Метод обробки нечітких даних на основі механізму Мамдані /Л.О.Дубчак // Системи обробки інформації. – 2012. – №7(105). – С.131-134.
11. Spartan-3 Generation FPGA User Guide. Extended Spartan-3A, Spartan-3E, and Spartan-3 FPGA Families. UG331 [Електронний ресурс] // Xilinx Inc. – 2011. – Rev.1.8. - Режим доступу до інструкції користувача- http://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug331.pdf.

References

1. Vasylytsiv I.V. Ataky spetsialnogo vydu na kryptoprystroi ta metody borotby z nymy / za red. V.P.Shyrochyna – Kremenets: Vydavnychy tsestr KOGPI, 2009. – P. 264
2. Vasylytsiv I.V., Dubchak L.O. Metody zakhystu proty atak spetsialnogo vydu // Visnyk Khmelnytskogo natsionalnogo universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2007. Volume 5. Pp. 174-182.
3. Quisquater J.-J. Side Channel Attacks [Electronic resource] / J.-J.Quisquater, F.Koeune.// State-of-the-art regarding side channel attacks: report, October, 2010. – 2010. – 47 p. Web resource: http://www.ipa.go.jp/security/enc/CRYPTREC/fy15/doc/1047_Side_Channel_report.pdf
4. Shtovba S.D. Obespechenie tochnosti i prozrachnosti nechetkoi modeli Mamdani pri obuchenii po eksperimentalnym danym // Problemy upravleniya i informatiki. 2007. Volume 4. Pp. 102–114.
5. Petrov A.O. Printsypy proektuvannya ta otsinky system zahystu informatsii v meregakh zagalnogo korystuvannya // Informatsiyna bezpeka. 2011. Volume 1(5). Pp.49-56.
6. Patent US 2010/0177887A1, Int.Cl. H04L9/28. Montgomery-based modular exponentiation secured against hidden channel attacks / M.Ciet, B.Feix; Gemalto SA (FR). – № 12/666,892; decl. 02.05.2008; publ. 15.07.2010.
7. Patent US 7,020,281B2, Int.Cl. H04L9/00. Timing attack resistant cryptographic system / A.Vadekar, R.J.Lambert; Certicom Corp. (CA). – № 09/761,700; decl. 25.10.2001; publ. 28.03.2006.
8. Dubchak L.O. Model aparatnogo zasobu vyboru metodu modulyarnogo eksponentsiyuvannya // Naukovy visnyk Chernivetskogo natsionalnogo universytetu imeni Yuriya Fedkovycha. Kompyuterni systemy ta komponenty. 2011. Volume 4. Part 2. Pp.44-48.
9. Dubchak L.O., Tymoshenko L.M., Yaremchuk T.O. Sposib vyboru metodu modulyarnogo eksponentsiyuvannya dlya pobudovy optymalnoi systemy zakhystu konfidentsijnoi informatsii // Informatsijna bezpeka. 2011. Volume №1(5). Pp.112-116.
10. Dubchak L.O. Metod obrobky nechitkykh danykh na osnovi mekhanizmu Mamdani // Systemy obrobky informatsii. 2012. Volume №7(105). Pp.131-134.
11. Spartan-3 Generation FPGA User Guide. Extended Spartan-3A, Spartan-3E, and Spartan-3 FPGA Families. UG331 [Electronic resource]// Xilinx Inc. - 2011. – Rev.1.8. – Web resource: http://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug331.pdf.

Рецензія/Peer review : 12.3.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Березький О.М.

НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ЯК ЗАСІБ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ОБРОБЛЕННІ СИГНАЛІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Розглянуто похибки вимірювання температури за допомогою термоелектричних перетворювачів, адаптовано методи їх корекції для реалізації за допомогою нейронних мереж, оцінено похибки такої корекції. Результати проведених досліджень вказують на можливість використання нейронних мереж як універсального засобу функціонального перетворення при побудові вимірювального каналу приладів і систем прецизійного вимірювання температури за допомогою термоелектричних перетворювачів.

Ключові слова: вимірювання, корекція похибки, термоелектричні перетворювачі, нейронні мережі

NADIA MYKHAILIVNA VASYLKIV

Ternopil national economic university

NEURAL NETWORKS AS A MEANS OF FUNCTIONAL TRANSFORMATIONS IN SIGNAL PROCESSING OF THERMOELECTRIC CONVERTERS

Abstract - The aim of the research is to investigate the feasibility of using neural networks as a universal means of functional transformation in creating software for data processing (error correction) thermoelectric converters.

We consider the error temperature measurement using thermoelectric converters, adapted their methods to implement correction using neural networks, this estimated error correction. The methods for correcting errors implemented simple, unified for all errors neural network. The neural network for error correction of acquired heterogeneity should have multiple inputs.

The results of researches indicate to the possibility of using neural networks as a universal means uniform functional transformation in the construction of the measuring channel devices and systems for precision temperature measurement using thermoelectric converters.

Keywords: measuring, correction of error, thermoelectric converters, neural networks

Вступ

У зв'язку з широким використанням термоелектричних перетворювачів (ТЕП) при вимірюванні температур 500...1300°C, відносно великою кількістю притаманних їм похибок, а також доволі великими значеннями цих похибок, які зазвичай домінують у вимірювальному каналі [1, 2], розроблено чимало методів корекції практично всіх похибок ТЕП. Однак одночасне використання розроблених методів корекції різноманітних похибок ТЕП при побудові вимірювального каналу прецизійних засобів вимірювання температури супроводжується деякими труднощами, пов'язаними з різноманітністю математичних методів, що використовують методи корекції різних похибок. Така різноманітність, очевидно, пов'язана з тим, що методи корекції похибок оптимізовано для кожної з них зокрема. При цьому не було взято до уваги системний підхід до розроблення приладів і систем, який вимагає узгодження методів оброблення сигналів у вимірювальному каналі, а також вимоги модульного підходу до структури програмного забезпечення цих приладів і систем.

Додаткові труднощі виникають при побудові приладів і систем прецизійного вимірювання температури на базі мікроконтролерів, особливо 8-бітних. Ці мікроконтролери мають доволі обмежені обчислювальні ресурси, тому для них необхідність уніфікації програмного забезпечення є особливо важливою. Слід відзначити, що методи оброблення сигналів ТЕП не вимагають використання складних математичних методів або великих масивів даних, тому вимога щодо уніфікації програмного забезпечення та адаптації його для виконання мікроконтролерами може бути виконана.

1. Постановка задачі

При побудові вимірювального каналу приладів і систем прецизійного вимірювання температури за допомогою ТЕП необхідно коригувати наступні їх інструментальні похибки:

- 1) від впливу температури з'єднань порівняння ТЕП;
- 2) від нелінійності функції перетворення (ФП) ТЕП;
- 3) від індивідуальних відхилень ФП ТЕП від номінальної ФП;
- 4) індивідуальну похибку від дрейфу ФП ТЕП за час експлуатації;
- 5) індивідуальну похибку від набутої в процесі експлуатації термоелектричної неоднорідності електродів ТЕП.

Залежно від умов експлуатації може знадобитися також корекція похибок, пов'язаних із взаємодією ТЕП з об'єктом вимірювання температури [3], однак ці похибки відносяться до методичних, а їх корекція вимагає індивідуального підходу в кожному випадку.

Під час корекції кожної з перелічених вище похибок ТЕП необхідно виконувати деякі функціональні перетворення. У [4] показано, що універсальним засобом функціонального перетворення можуть бути нейронні мережі (НМ). Вони мають адаптивні властивості та здатність до узагальнення, що робить їх привабливими при корекції похибок, свідченням чого є успішне їх використання для корекції

похибок від дрейфу ФП ТЕП [5, 6] та від набутої термоелектричної неоднорідності ТЕП [7, 8]. Тому доцільно дослідити можливість використання НМ як універсального уніфікованого засобу функціонального перетворення при побудові вимірювального каналу приладів і систем прецизійного вимірювання температури за допомогою ТЕП.

Основним недоліком НМ, особливо при побудові приладів і систем на базі мікроконтролерів, є те, що вони потребують значних обчислювальних ресурсів. Однак, це справедливо лише для режиму навчання НМ, а, як показано в [6], для режиму їх використання необхідна обчислювальна потужність зменшується приблизно в 10^4 разів. Тому в [6] запропоновано використати для побудови мікропроцесорних модулів оброблення даних дистрибутивних вимірювально-керуючих мереж, що використовують НМ, дистанційне перепрограмування [9, 10], яке дозволяє змінювати програмне забезпечення в процесі роботи. Такий підхід дає змогу гнучко використовувати для оброблення даних довільні НМ.

Метою статті є дослідження доцільності використання нейронних мереж як універсального засобу функціонального перетворення при створенні програмного забезпечення для оброблення даних (корекції похибок) термоелектричних перетворювачів для 8-бітних мікроконтролерів. Для досягнення мети треба відібрати кращі методи корекції перелічених вище похибок ТЕП, адаптувати їх для реалізації за допомогою НМ та оцінити похибки корекції.

2. Корекція впливу температури злутів порівняння

Мостові схеми корекції впливу температури вільних кінців мають ряд суттєвих недоліків:

- відносно велику похибку корекції через неспівпадання характеру їх ФП з характером ФП ТЕП (у цих ФП різні знаки других похідних);
- значний вплив опору проводів підключення давача температури (мідного термометра опору) на коригуючу напругу;
- відносно велику інструментальну похибку через необхідність використання трьох прецизійних резисторів, які разом з термометром опору створюють міст.

Вищу точність забезпечують потенціометричні схеми [11], що, за рахунок практично відсутнього впливу опору проводів підключення термометра опору на похибку корекції, дають змогу відмовитися від подовжувальних проводів (термометр опору розміщується в головці ТЕП), похибка яких співмірна з похибкою ТЕП [12]. Недолік схеми [11], який полягає у необхідній більшій розрядності АЦП, на сьогодні, при використанні прецизійних сигма-дельта АЦП або відповідних мікроконверторів, неактуальний.

Алгоритм корекції повинен передбачати виконання наступних операцій:

1. Вимірювання струму термометра опору I_{TO} шляхом вимірювання спаду напруги U_{RN} на опорному резисторі, опір якого R_N відомий.

2. Вимірювання спаду напруги на термометрі опору U_{TO} .

3. Обчислення опору термометра опору R_{TO} за формулою

$$R_{TO} = R_N(U_{TO}/U_{RN}). \quad (1)$$

4. Визначення термо-е.р.с. ТЕП E_{VK} , що відповідає температурі злутів порівняння t_{VK} за допомогою нейронної мережі.

5. Обчислення скоригованої термо-е.р.с. ТЕП E_{RK}^{VK} , що відповідає температурі його робочого злуту t_{RK} за формулою

$$E_{RK}^{VK} = E_{RK} + E_{VK}, \quad (2)$$

де E_{RK} – безпосередньо виміряна термо-е.р.с. ТЕП.

Вибірка для навчання НМ в даному випадку повинна подавати на вхід НМ значення опору термометра R_{TO} , а на вихід – відповідні значення термо-е.р.с. ТЕП E_{VK} .

Як показали дослідження, для широко розповсюджених ТЕП хромель-алюмель (ХА) допустимо похибку функціонального перетворення забезпечує один нейрон.

Однак наступні функціональні перетворення не будуть настільки простими, тому, для уникнення необхідності зміни структури НМ, досліджено похибки НМ (тришаровий персептрон, один вхідний розподільчий нейрон, три нейрони схованого шару із сигмоїдною функцією активації та один лінійний вихідний нейрон) при температурі злутів порівняння ТЕП ХА в діапазоні від 0 до 50°C. На рисунку 1 представлено результати досліджень.

Отримана максимальна похибка 0,14 % (що відповідає 0,07°C) цілком прийнятна.

Корекцію похибки нелінійності ФП ТЕП доцільно об'єднати з масштабним перетворенням вихідного коду аналого-цифрового перетворювача. Для зменшення похибки функціонального перетворення, НМ має формувати коди, які, при додаванні до результату перетворення, повинні приводити значення коду до вигляду, який вимагає лише ділення. Основою для корекції цієї похибки є стандарт [13], де вказано

номінальні значення термо-е.р.с. ТЕП $E_{RK}^{NOM}(t^{\circ}C)$ як функції температури. Тоді для ТЕП ХА лінеаризуючу поправку ΔE_{RK}^{LIN} можна обчислити як

$$\Delta E_{RK}^{LIN} = E_{RK}^{NOM}(t^{\circ}C) - 40 \cdot t^{\circ}C, \quad (3)$$

де $t^{\circ}C$ – поточне значення температури, $^{\circ}C$.

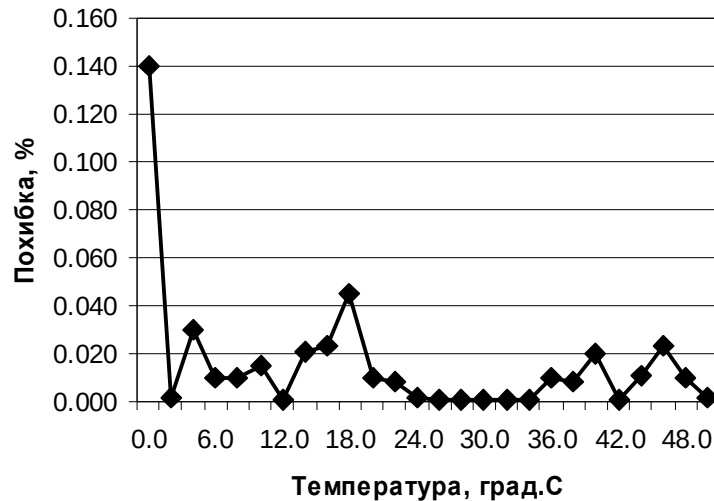


Рис. 1. Графік відносної похибки визначення коригуючої поправки на температуру злутів порівняння

3. Корекція похибки нелінійності ФП ТЕП

Вибірка для навчання НМ в даному випадку повинна подавати на вхід НМ значення отриманої у розділі 2 скоригованої термо-е.р.с. ТЕП E_{RK}^{VK} , а на вихід – відповідні значення поправки ΔE_{RK}^{LIN} . Як показали дослідження, для ТЕП ХА максимальна похибка визначення поправки в діапазоні від 0 до 1100 $^{\circ}C$ не перевищує 0,042% (рис. 2) при використанні НМ аналогічної, як у розділі 2, структури. Максимальне значення поправки не перевищує 12 $^{\circ}C$, тому абсолютна похибка лінеаризації не перевищує 0,005 $^{\circ}C$.

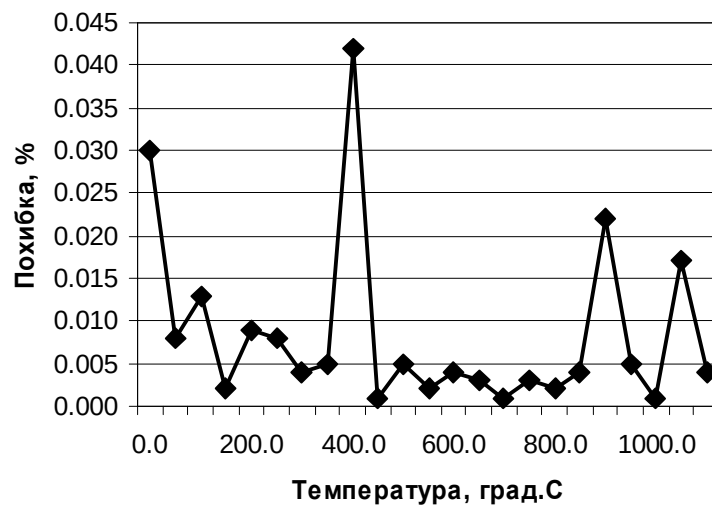


Рис. 2. Графік відносної похибки визначення поправки при лінеаризації

4. Корекція індивідуального відхилення ФП ТЕП від номінальної

Під час корекції похибки від індивідуального відхилення ФП ТЕП від номінальної нейронна мережа має формувати коди, які, при додаванні до результату аналого-цифрового перетворення, повинні приводити значення коду до вигляду, який вимагає лише ділення. Основою для корекції служать результати метрологічної перевірки ТЕП $E_{RK}^{REAL}(t^{\circ}C)$ у декількох точках [14]: трьох - для діапазону вимірювання, що не перевищує 500 $^{\circ}C$, до п'яти - при ширшому діапазоні вимірювання. Тоді індивідуальну поправку ΔE_{RK}^{IND} можна обчислити як

$$\Delta E_{RK}^{IND} = E_{RK}^{REAL}(t^{\circ}C) - E_{RK}^{NOM}(t^{\circ}C), \quad (4)$$

де $E_{RK}^{NOM}(t^{\circ}C)$ – номінальні значення термо-е.р.с. ТЕП, що відповідають температурі його метрологічної перевірки, отримані, наприклад, шляхом інтерполяції табличних значень термо-е.р.с. ТЕП цього типу.

Вибірка для навчання НМ в даному випадку повинна подавати на вхід НМ значення отриманої у розділі 3 термо-е.р.с. ТЕП після лінеаризації E_{RK}^{LIN} , а на вихід – знайдені індивідуальні поправки ΔE_{RK}^{IND} . Як показали дослідження, для ТЕП ХА максимальна похибка визначення поправки в діапазоні від 0 до 1100°C не перевищує 0,1% (рис. 3) при використанні НМ описаної структури. Максимальне значення поправки для ТЕП ХА не перевищує 8°C, тому абсолютна похибка лінеаризації не перевищує 0,008°C.

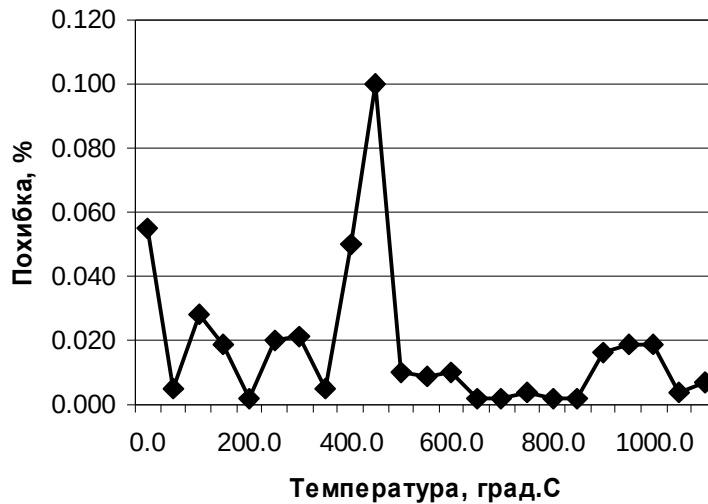


Рис. 3. Графік похибки корекції індивідуального відхилення ФП ТЕП

5. Корекція дрейфу ФП ТЕП в часі

В процесі корекції похибки від ФП ТЕП в часі НМ також повинна формувати коди, які, при додаванні до результату аналого-цифрового перетворення, повинні приводити значення коду до вигляду, який вимагає лише ділення. Відомо три методи корекції цієї похибки за допомогою НМ [6, 15]:

1. Навчання НМ за результатами періодичної метрологічної перевірки ТЕП на місці експлуатації за допомогою зріцевого ТЕП [16] або калібрування за допомогою температурного калібрувальника [17]. Його недоліком є потреба відносно великої кількості метрологічних перевірок або калібрувань для якісного навчання НМ [15].

2. Використання ансамблю з апроксимуючої та прогнозує НМ [6]. Цей метод для якісного навчання НМ вимагає відносно невеликої кількості метрологічних перевірок або калібрувань (5 – 7), але поки вони не будуть проведені, похибка від дрейфу ФП ТЕП в часі не буде коригована.

3. Використання ансамблю з інтегрує історичні дані, апроксимуючої та прогнозує НМ [5, 6]. Цей метод для якісного навчання нейронної мережі вимагає лише однієї метрологічної перевірки або калібрування, однак він спирається на масив результатів метрологічної перевірки групи однотипних ТЕП.

Ці методи мають велику, зростаючу згідно їх номера у приведеному переліку, обчислювальну складність. Однак це стосується лише етапу навчання. На етапі використання ці методи корекції можуть мати однакову невисоку обчислювальну складність. Для корекції в складі мікроконтролера слід виконати один з методів, з його допомогою провести прогноз 50 – 100 значень термо-е.р.с. дрейфу та навчити на них НМ корекції, що буде використана безпосередньо для обчислення коригуючої поправки.

Індивідуальні значення функції ΔE_{DRIFT}^{IND} , що коригує дрейф ФП ТЕП в часі, можна обчислити за допомогою перелічених методів та представити як

$$\Delta E_{DRIFT}^{IND} = f(E_{RK}^{REAL}, \tau_{EXP}), \quad (5)$$

де τ_{EXP} – час експлуатації ТЕП.

Вибірка для навчання НМ в даному випадку повинна подавати на вхід НМ значення отриманої у розділі 4 термо-е.р.с. ТЕП після лінеаризації та корекції похибки від індивідуального відхилення ФП ТЕП від номінальної $E_{RK}^{LIN+IND}$, а також відповідний час експлуатації τ_{EXP} . На вихід слід подавати знайдені індивідуальні поправки ΔE_{DRIFT}^{IND} . Як показали дослідження, для ТЕП ХА максимальна похибка корекції дрейфу ФП ТЕП в часі в діапазоні від 0 до 2000 годин не перевищує 0,56 % (рис. 4) при НМ, аналогічній до описаної вище (вона лише повинна мати два вхідні розподільчі нейрони, куди поступають $E_{RK}^{LIN+IND}$ та

τ_{EXP}). Максимальне значення похибки дрейфу ФП ТЕП в часі для ТЕП ХА не перевищує 22°C, тому абсолютна похибка лінеаризації не перевищує 0,13°C.

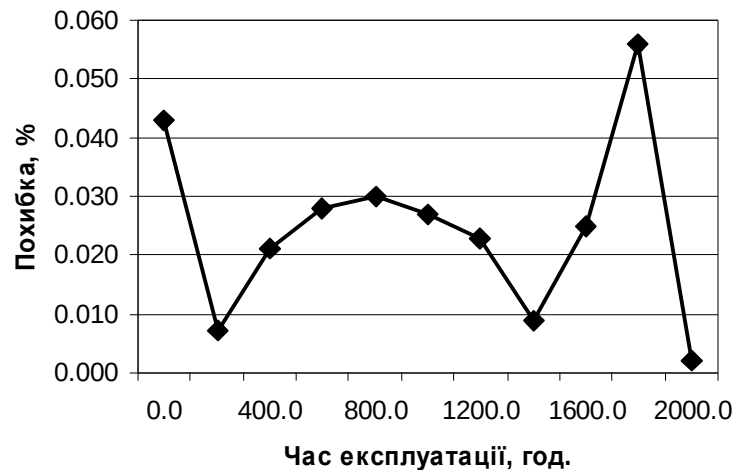


Рис. 4. Графік похибки корекції похибки від дрейфу ФП ТЕП в часі

6. Корекція похибки від набутої термоелектричної неоднорідності

Похибка ТЕП від набутої в процесі експлуатації неоднорідності його термоелектродів визначається та коригується найважче. Вона полягає у тому, що деградація різних ділянок термоелектродів під час дії високих температур при експлуатації приблизно пропорційна до температури. Деградація проявляється і як дрейф ФП ТЕП в часі (зміна в часі генерованої термо-е.р.с. при постійних температурах робочого з'єднання і з'єднань порівняння) [1, 12, 18], і як похибка від набутої неоднорідності (зміна генерованої термо-е.р.с. при постійних температурах робочого з'єднання і з'єднань порівняння через зміну профіля температурного поля вздовж термоелектродів) [8, 18]. Методи корекції похибки від набутої неоднорідності, запропоновані раніше, базуються на розподілі визначеної під час метрологічної перевірки ТЕП похибки між математичними моделями похибок ділянок ТЕП, однак не визначають дійсного критерію розподілу. У [7, 8] запропоновано нейромережвий метод корекції цієї похибки, який полягає у тому, що згаданий критерій розподілу знаходять за допомогою НМ, яка узагальнює результати метрологічної перевірки ТЕП у різних профілях температурного поля вздовж термоелектродів.

Запропонований у [7, 8] метод досить складний не тільки під час навчання НМ, а і в процесі їх використання. Він передбачає навчання НМ за результатами метрологічної перевірки в різних температурних полях, визначення формованих математичними моделями похибок ділянок поправок для всіх ділянок і для всіх профілів температурного поля, а також сум поправок для кожного профілю, обчислення відхилень цих сум від результатів метрологічних перевірок, розподіл відхилень сум між ділянками (за допомогою навченої раніше НМ) та корекцію математичних моделей похибок ділянок згідно результатів розподілу.

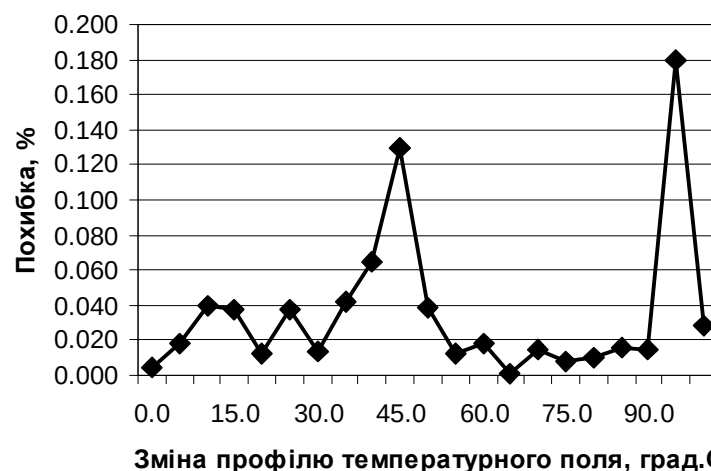


Рис. 5. Графік похибки корекції від набутої термоелектричної неоднорідності

Однак метод можна значно спростити за рахунок обчислення (за відкоригованими математичними моделями похибок ділянок) 50–100 значень залежності поточних поправок для різних комбінацій температур всіх ділянок (тобто різних профілів температурного поля вздовж електродів ТЕП) і навчання додаткової НМ корекції (що буде використовуватись мікроконтролером) на обчислених значеннях. У такому разі НМ корекції буде відрізнятися від описаних вище лише кількістю вхідних розподільчих нейронів – їх

кількість має бути рівна кількості давачів температури ділянок вздовж електродів ТЕП. Саме для цих точок визначення профілю температурного поля повинні бути обчислені значення поточних поправок, на яких вчиться НМ корекції. Таким чином, структура НМ для корекції всіх похибок буде однорідна.

Як показали дослідження [19], для ТЕП ХА максимальна похибка від набутої неоднорідності досягає 11°C. Відносна похибка корекції похибки від набутої неоднорідності для ТЕП, що експлуатувався 1000 годин, як показало моделювання, не перевищує 0,18 % (рис. 5), абсолютна похибка не перевищує 0,02°C.

Висновки

Як видно з результатів проведеного дослідження, похибки, які вносять нейронні мережі, є відносно дуже малі. Слід зазначити, що вказані вище значення максимальних похибок відносяться виключно до самих нейронних мереж, вони не враховують інструментальних похибок інших компонентів вимірювального каналу. Відібрані кращі методи корекції похибок ТЕП можуть бути реалізовані досить простою, уніфікованою для всіх похибок нейронною мережею. Додаткова уніфікація можлива за рахунок використання у всіх випадках найскладнішого варіанту – нейронної мережі корекції похибки від набутої неоднорідності, яка повинна мати декілька входів. При цьому, якщо така кількість входів для корекції інших похибок не потрібна, то на входи подають однакові значення вхідної змінної. Однак в такому випадку навчати всі нейронні мережі потрібно саме з такою кількістю входів.

Отже, використання нейронної мережі, як універсального засобу функціонального перетворення, при створенні програмного забезпечення оброблення даних ТЕП для 8-бітних мікроконтролерів можливе та доцільне.

Література

1. Вимірювання температури: теорія та практика / Я. Т. Луцук, О. П. Гук, О. І. Лах, Б. І. Стадник. – Львів: “Бескид Біт”, 2006. – 560 с.
2. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температуры для промышленных технологий: дис. доктора техн. наук : 05.11.16 / Саченко Анатолий Алексеевич. – Ленинград, 1988. – 278 с.
3. Гордов А.Н. Точность контактных методов измерения температуры / А.Н., Гордов, Я.В. Малков, Н.Н. Эргард [и др.]. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 237с.
4. Головкин В.А. Нейроинтеллект: теория и применение. Книга 1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями / В.А. Головкин. – Брест: Изд. БПИ, 1999. – 264 с.
5. Патент 50830 Україна, МПК 7 G06F15/18. Спосіб формування навчальної вибірки прогнозуючої дрейф пристрою збору даних нейронної мережі / Саченко А., Кочан В., Турченко В. (Україна), Головкин В., Савицький Ю. (Білорусь), Лаопулос Т. (Греція) – заявл. 04.01.2000; Опубл. 15.11.2002. – 14 с.
6. Турченко В.О. Нейромережеві методи і засоби підвищення ефективності дистрибутивних мереж збору та обробки сенсорних даних: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.13 «Обчислювальні машини, системи, мережі» / В.О. Турченко. – Львів, 2001. – 16 с.
7. Пат. 92192 Україна, МПК G01K 7/02. Спосіб корекції похибки неоднорідності термодатчиків / Васильків Н.М., Кочан О.В., Кочан В.В. – № a200805623; заявл. 29.04.2008; опубл. 10.11.09, Бюл. №21.
8. Васильків Н.М. Метод корекції похибки вимірювання температури неоднорідними термодатчиками / Н.М. Васильків // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С.168-173.
9. Васильків Н.М. Контролер з дистанційною реконфігурацією для адаптивної вимірювально-керуючої мережі / Н.М. Васильків, В.В. Кочан, А.О. Саченко, В.О. Тимчишин // Вісник ДУ «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи та мережі. – 1998. – №350. – С.14-18.
10. Пат. 90766 Україна, МПК G06R. Мережевий модуль обробки даних з дистанційною реконфігурацією / Кочан Р.В., Майків І.М., Турченко І.В., Кочан В.В. – №200806336; заявл. 13.05.2008; опубл. 25.05.10.
11. А.с. СССР № 1224611. Устройство для измерения температуры / А.А. Саченко, В.В. Кочан, Г.М. Гладий, Ю.П. Троценко, А.Ф. Карачка (СССР) - опубл. 1986, БИ № 14.
12. Бычковский Р.В. Контактные датчики температуры / Р.В. Бычковский – М.: Металлургия, 1978. – 240 с.
13. ДСТУ 2837-94 Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення. – [Чинний від 1986-04-01]. – К.: Держстандарт України, 1994. – (Національний стандарт України)
14. Рогельберг И.Л. Сплавы для термодатчиков / И.Л. Рогельберг, В.М. Бейлин. – М.: Металлургия, 1983. – 360 с.
15. Кочан Р. В. Вдосконалення компонентів прецизійних розподілених інформаційно-вимірювальних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.16 “Інформаційно-вимірювальні системи” / Р.В. Кочан. – Львів, 2005. – 16 с.
16. Kortvelyessy L. Thermoelement Praxis / L. Kortvelyessy – Vulkan-Verlag, Essen, 1981.– P. 498.
17. United States Patent 3.499.340. 73-1. G01K 15/00. Self calibrating temperature sensing probe and

proube – indicator combination // Alf Hundves, Henz G. Buschfort. – 1968.

18. Кочан О.В. Оцінка максимальної похибки неоднорідних термопар / О.В. Кочан, Р.В. Кочан, В.Я. Яскілка, Н.М.Васильків // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2007. – №1 – С. 122 -129.

19. Васильків Н.М. Дослідження впливу змін профілю температурного поля на похибку вимірювання температури неоднорідними термопарами / Н.М. Васильків, О.В. Кочан // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2010. – Т.15. – №2. – С.146-153.

References

1. Lutsyk Ya.T., Huk O.P., Lakh O. I., Stadnyk B. I. Vymiryuvannya temperatury: teoriia ta praktyka.– Lviv: “Beskyd Bit”, 2006. – 560 p. [in Ukrainian]
2. Sachenko A.A. Razrabotka metodov povysheniya tochnosti i sozdanie sistem precizionno izmereniya temperatury' dlya promy'shlenny'x tekhnologiy: dis. doktora texn. nauk : 05.11.16. – Leningrad, 1988. – 278 p. [in Russian]
3. Gordov A.N., Malkov Ya.V., E'rgard N.N. Tochnost' kontaktny'x metodov izmereniya temperatury'. – M.: Izd. standartov, 1973. – 237c. [in Russian]
4. Golovko V.A. Nejrintellekt: teoriya i primeneniye. Kniga 1: Organizatsiya i obucheniye nejronny'x setey s pryamy'mi i obratny'mi svyazami. – Brest: Izd. BPI, 1999. – 264 p. [in Russian]
5. Pat. 50830 Ukraine, MPK 7 G06F15/18. Sposib formuvannya navchalnoi vybirky prohozuiuchoi dreif prystroiu zboru danykh neironnoi merezhi / Sachenko A.O., Kochan V., Turchenko V. (Ukraine), Holovko V., Savitskyi Yu. (Bilorus), Laopoulos T. (Hretsia) – zaivl. 04.01.2000; Opubl. 15.11.2002. – 14 p. [in Ukrainian]
6. Turchenko V.O. Neiromerezhevi metody i zasoby pidvyshchennia efektyvnosti dystrybutyvnykh merezh zboru i obrobky sensorykh danykh: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk: spets.. 05.13.13 «Obchysluvalni mashyny, systemy, merezhi». – Lviv, 2001. – 16 p. [in Ukrainian]
7. Pat. 92192 Ukraine, MPK G01K 7/02. Sposib korektsii pokhybky neodnorodnosti termopar / Vasylykiv N.M., Kochan O.V., Kochan V.V. - № a200805623; zaivl. 29.04.2008; opubl.10.11.09, biul..№21. [in Ukrainian]
8. Vasylykiv N.M. Metod korektsii pokhybky vymiryuvannya temperatury neodnorodnykh termoparamy. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2010. Volume. Issue 2. pp.168-173. [in Ukrainian]
9. Vasylykiv N.M., Kochan V.V., Sachenko A.O., Tymchyshyn V.O. Kontroler z dystantsiinoi rekonfiguratsiei dlia adaptivnoi vymiryuvalno-keruiuchoi merezhi. Visnyk DU «Lvivska politekhnika». Kompiuterni systemy ta merezhi.- 1998. - №350. - pp.14-18. [in Ukrainian]
10. Pat. 90766 Ukraine, MPK G06R. Merezheviy modul obrobky danykh z dystantsiinoi rekonfiguratsiei / Kochan R.V., Maikiv I.M., Turchenko I.V., Kochan V.V. - №200806336; zaivl. 13.05.2008; opubl.25.05.10. [in Ukrainian]
11. A.s. SSSR № 1224611. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury' / Sachenko A.A., Kochan V.V., Gladij G.M., Trocenko Yu.P., Karachka A.F. - Opubl. BI № 14 , 1986. [in Russian]
12. By'chkovskij R.V. Kontaktny'e datchiki temperatury' – M.: Metallurgiya, 1978. – 240 p. [in Russian]
13. Peretvoriuvachi termoelektrychni. Nominalni statychni kharakterystyky peretvorennia : DSTU 2837-94 . - [Chynnyi vid 1986-04-01] – K.: Derzhstandart Ukrainy, 1994. – (Natsionalnyi standart Ukrainy) [in Ukrainian]
14. Rogelberg I.L., Bejlin V.M. Splavy' dlya termopar. – M.: Metallurgiya, 1983. – 360 p. [in Russian]
15. Kochan R.V. Vdoskonalennia komponentiv pretsyziinykh rozpodilennykh informatsiino-vymiryuvalnykh system: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk: spets. 05.11.16 “Informatsiino-vymiryuvalni systemy. – Lviv, 2005. – 16 p. [in Ukrainian]
16. Kortvelyessy L. Thermoelement Praxis– Vulkan-Verlag, Essen, 1981.- P. 498.
17. United States Patent 3.499.340. 73-1. G01K 15/00. Self calibrating temperature sensing proube and proube – indicator combination // Alf Hundves, Henz G. Buschfort. - 1968.
18. Kochan O.V., Kochan R.V., Yaskilka V.Ya, Vasylykiv N.M. Otsinka maksymalnoi pokhybky neodnorodnykh termopar. Visnyk Ternopil'skoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. – 2007. - №1 - pp. 122-129. [in Ukrainian]
19. Vasylykiv N.M., Kochan O.V. Doslidzhennia vplyvu zmin profilu temperaturnoho polia na pokhybku vymiryuvannya temperatury neodnorodnykh termoparamy. Visnyk Ternopil'skoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. – 2010. – Т.15. - №2. – pp.146-153. [in Ukrainian]

Рецензія/Peer review : 14.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.

Рецензент: д. т. н., професор Саченко А.О.

Ю.М. ТЕСЛЯ

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Є.Є. ШАБАЛА

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ПРИРОДОМОВНОГО ТЕКСТУ БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕМАТИКИ

Анотація. Розглянуто процеси лінгвістичної обробки природномовних текстів з позицій оцінки ймовірності правильно визначеного змісту тексту нормативної бази в будівництві. Для розрахунку несилового впливу фрагментів речень на вибір ключових понять для нормативної бази в будівельній галузі запропоновано застосувати інтроформаційний підхід.

Ключові слова: нормативна база, природномовний текст, лінгвістична обробка тексту, інтелектуальна система, штучний інтелект, зміст тексту, рефлекс, фрагмент тексту, інтроформаційний метод

Y.M. TESLYA

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Y.Y. SHABALA

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

FEATURES OF NATURAL TEXT PROCESSING BUILDINGSUBJECTS

Abstract - The processes of linguistic processing natural language texts from the standpoint of assessing the likelihood the correct text content regulations in construction. To calculate the influence of non-forcible fragments of sentences to choose the key concepts for the regulatory framework in the construction industry invited to apply intro formational approach. The essence of which is to determine the conditional probability of occurrence of key concepts, provided that in the text is a fragment. Deviations from absolute conditional probability of the probability of occurrence of this key concept in non-forcible evidence (information) the impact of intellectual apparatus of the man who defined the appearance of fragment analysis of natural language texts consists of sequential processes: morphological analysis, syntactic analysis, semantic analysis. To automate these processes created by various natural language processing system text or natural language interfaces of intelligent systems that would allocate important in natural language texts, the content, that is what is at stake in the regulations.

Keywords: regulatory framework, natural text linguistic processing text, intelligent system, artificial intelligence, text content, reflex, text, introformation method

Постановка проблеми

Ситуація, яка склалася на сьогодні при вирішенні задач автоматизації ведення нормативної бази в будівельній галузі вимагає застосування інформаційних технологій, які могли б в автоматичному чи автоматизованому режимі зв'язувати довільні тексти будівельної тематики з нормативною базою [1]. Будівельна галузь має великі обсяги інформації, яку необхідно використовувати. Людина у багатьох випадках уже не в змозі самостійно опрацювати всю необхідну інформацію. У зв'язку з цим широкого застосування набули комп'ютерні системи, що використовують методи автоматичного опрацювання природної мови. Створення великих сховищ даних робить актуальними задачі екстракції знань і формування коректно побудованих текстових документів, що вимагає створення засобів повнотекстового пошуку інформації, а також порівняння текстів за їх змістом.

Значний вклад у розвиток моделей та методів автоматизованого управління інформаційними системами, аналізу природної мови та когнітивних процесів людини внесли вітчизняні дослідники О. В. Палагін, Ю.М. Тесля, А.В. Анісімов, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко, М.Ф. Бондаренко, Н.В. Шаронова, В.П. Широчин та ін.[7].

Задачі обробки текстової інформації виникли практично одразу після появи обчислювальної техніки. Проте, незважаючи на півстолітню історію досліджень у цій галузі штучного інтелекту, розвиток інформаційних технологій, задовільного рішення більшості практичних задач аналітичної обробки текстової інформації поки що не існує.

Для спрощення пошуку потрібної інформації в нескінченості текстів нормативів необхідно розробити систему, яка б виділяла головне в природномовному тексті, зміст, тобто те, про що йде мова в нормативному документі. Але ця задача є досить складною. Велику кількість науково-дослідних програм спрямовано на розвиток лінгвістичних інформаційних систем. У зв'язку з бурхливим розвитком Інтернету, інших комп'ютерно-комунікаційних технологій ця проблема набуває ще більшої значущості [2].

Для підвищення точності аналізу текстів розробляються методи попередньої лінгвістичної обробки, що вимагає, по-перше, значних обчислювальних витрат для лінгвістичного аналізу індексованої колекції текстів, по-друге, розробки спеціалізованої пошукової машини. Автоматизоване вилучення знань з тексту є однією з основних задач штучного інтелекту і безпосередньо пов'язане з розумінням текстів на природній мові [3]. Але відомі методи не забезпечують прийняттого рівня розв'язку широкого кола актуальних семантико-залежних задач, а тому потребують розробки нові комплексні підходи та методи, що враховують недоліки існуючих.

Виклад основного матеріалу

Аналіз природномовних текстів складається з послідовних процесів: морфологічний аналіз, синтаксичний аналіз, семантичний аналіз.

Морфологічний аналіз передбачає розпізнавання і перевірку правильності написання слів за словниками. Отже, морфологічний аналіз дозволяє зрозуміти сутність граматичних ознак слів або цілих пропозицій. Щоб правильно розібрати слово, потрібно знати, які ознаки має кожна частина мови. Морфологічний аналіз тексту передбачає розуміння тексту, виявлення його структурних особливостей [4].

Синтаксичний контроль - розкладання вхідних повідомлень на окремі компоненти (визначення структури) з перевіркою відповідності граматичним правилам внутрішнього подання знань і виявлення відсутніх частин.

Семантичний аналіз - встановлення смислової правильності синтаксичних конструкцій в реченнях.

Для автоматизації цих процесів створюються різноманітні системи обробки природно мовних текстів, або ж природно мовні інтерфейси інтелектуальних систем.

Для того, щоб знайти потрібну інформацію у великому обсязі нормативних текстів необхідно або представити цей текст формальними моделями (що практично неможливо), або створювати системи, які вміють у таких текстах виділяти зміст. Такі системи дуже складні і коштують занадто дорого для звичайних будівельних компаній. Тому для створення доступних і ефективних систем в цій сфері пропонується використати інтроформаційний метод, який забезпечує розрахунок несилового впливу фрагментів речень на вибір ключових понять. Суть даного методу полягає в наступному.

Визначаються умовні ймовірності появи ключових понять при умові, що у вхідному тексті є деякий фрагмент (слово або буквосполучення). Відхилення умовної ймовірності від абсолютної ймовірності появи цього ключового поняття свідчить про несиловий (інформаційний) вплив інтелектуального апарату людини, який визначив появу цього фрагменту. По суті це свідчить що у людини виник образ, що відповідає деякому змісту, деякому ключовому поняттю. По максимальній сумі таких впливів вибираються ключові поняття, які найбільш ймовірно відповідають розумінню людиною цього тексту.

Для оцінки ймовірності правильно визначеного змісту тексту нормативної бази в будівництві в рамках інтроформаційного методу необхідно:

1. Речення розкласти на множину фрагментів:

$$X = \{x_i\}, i = \overline{1, q}, \quad (1)$$

де X – речення;

x_i – фрагмент речення, який часто повторюється;

q – кількість фрагментів.

2. По частотним характеристикам можна визначити приблизні значення ймовірності кожної із реакцій при умові, що фрагмент нового речення в цей момент був присутнім:

$$\forall R_j \in R, x_i \in X : p(R_j / x_i) \approx n(R_j / x_i), \quad (2)$$

де $n(R_j / x_i)$ - частота реакції R_j за умови, що фрагмент x_i в ситуації був присутнім;

$p(R_j / x_i)$ - ймовірність реакції R_j за умови, що фрагмент x_i в ситуації був присутнім;

3. Для кожної реакції R_j по її безумовній ймовірності $p(R_j)$ і частим умовним ймовірностям оцінити $p(R_j / X)$:

$$f(p(R_j / x_1), K, p(R_j / x_i), K, p(R_j / x_q), K, x_i, K, x_q)) = p(R_j / X).$$

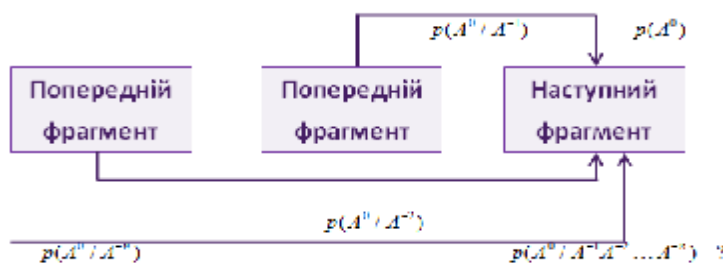


Рис. 1. Схема визначення розвитку тексту попередніми фрагментами

На рисунку 1 відображається схема визначення розвитку тексту попередніми фрагментами.

Виділення фрагментів в тексті може відбуватися різними способами. Елементарним фрагментом можна вважати окремий символ, буквосполучення, склад. Кількість символів у фрагменті тексту будемо називати довжиною фрагменту тексту. Для поставленої задачі формалізації змісту довільних текстів будівельних нормативів можна створити системи із довжиною фрагментів не константного типу, тобто користувач має можливість самостійно вводити мінімальну та максимальну довжину фрагменту тексту, але більш звичний спосіб розділення тексту на фрагменти є розділення по словах[5].

Для визначення найбільш ймовірного наступного фрагменту тексту будівельних нормативів по абсолютній і частій умовним ймовірностям необхідно знайти A_k^0 :

Кожен фрагмент тексту представляється в якості продукту, який продукується інтелектуальним апаратом людини. Семантична складова тексту, яка є суттю і продуктом процесів несилової (інформаційної) взаємодії в інтелектуальному апараті людини, визначає подальший розвиток тексту. Піз «розвитком тексту» слід розуміти приєднання до тексту нових фрагментів [5].

$$p(A_k^0 / A^{-1} K A^{-1} K A^{-m}) = \max_j (p(A_j^0 / A^{-1} K A^{-1} K A^{-m})), j = \overline{1, n},$$

по

$$p(A_j^0), p(A_j^0 / A^{-1}), K p(A_j^0 / A^{-1}), K p(A_j^0 / A^{-m}), j = \overline{1, n},$$

де A_k^0 – фрагмент тексту, який прогнозується (є найбільш ймовірним);

$p(A_k^0 / A^{-1} K A^{-1} K A^{-m})$ – розрахункова сумісна умовна ймовірність появи фрагменту тексту A_k^0 ;

$p(A_j^0 / A^{-1} K A^{-1} K A^{-m})$ – розрахункова сумісна умовна ймовірність появи фрагменту тексту A_j^0 ;

$p(A_j^0 / A^{-1})$ – умовна ймовірність появи фрагменту тексту A_j^0 , якщо йому передує фрагмент A^{-1} .

Розв'язок цієї задачі базується на оцінці сумісних умовних ймовірностей появи фрагментів тексту по окремим умовним ймовірностям. Така оцінка дозволить реалізовувати побудову інтелектуальної програмної системи не на основі евристик, а використовувати математичний апарат теорії несилової взаємодії [5].

Якщо у відповідність черговим фрагментам тексту, що прогножуються, поставити деякий зміст, то ми отримуємо систему в якій виробляються рефлексії на зміст тексту. Такі системи менш стійкі до перешкод, ніж системи, які базуються на морфологічному, синтаксичному, семантичному аналізі слів [6]. Адже помилка на одну літеру і це вже зовсім інше слово, інші ймовірності або їх відсутність. Якщо виділяються фрагменти невеликої або різної довжини, то перекручування одного фрагменту не заважає впливу інших фрагментів на розвиток тексту і, відповідно, не впливає на реакцію інтелектуальної системи чи людини на текст.

Впевненість в правильності інтроформаційного змісту речення визначається статичними даними, такими як об'єм тексту (кількість речень), які використовуються для розрахунку визначеності та інформованості. Чим більша кількість експериментальних речень, тим більша довіра отриманих ймовірностям, більша точність розрахунків і статистика отриманих результатів буде найточнішою.

Висновки

Важливою задачею лінгвістичної обробки тексту є машинна обробка значних обсягів інформації та узагальнене подання її основного сенсу в стислій формі, виділених смислових домінант і тематичної структури, визначення формальних характеристик стилю і жанру. Одним із найкращих розв'язків цих задач є застосування інтроформаційного методу, який забезпечує розрахунок несилового впливу фрагментів речень на вибір ключових понять.

Література

1. Сверстюк А. С. Нейромережеві експертні системи для діагностики та прогнозування стану серцево-судинної системи / А. С. Сверстюк, А.Б. Горкуненко - Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, - 2014. - № 4. - С. 103.
2. Тарануха В.Ю. Інтелектуальна обробка текстів: [навчальний посібник] / В. Ю.Тарануха. – Київ: електронна публікація на сайті факультету, 2014. – 80 с.
3. Вавіленкова А. І. Аналіз методів обробки текстової інформації / А. І. Вавіленкова - Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Інформатика та моделювання, - 2013. - № 39. - С. 35-40.
4. Поспелов Г.С., Ириков В.А. Программно-целевое планирование и управление. – М.: Сов. радио, 1976. – 438с.
5. Тесля Ю.Н. Введение в информатику природы/Ю.М. Тесля - К: Маклаут, - 2010.- 255 с.
6. Файн В.С. Распознавание образов и машинное понимание естественного языка/В.С.Файн - М.:Наука, - 1987.-173 с.
7. Формальні методи образного аналізу та синтезу природномовних конструкцій : монографія / О. В. Бісікало – Вінниця:ВНТУ, 2013. – 316 с.

References

1. Sverstuk A.S., Horkunenko A.B. Neural expert system for diagnosis and forecasting for cyclic biometric signals. Journal of Khmelnytsky National University. Technical Sciences. Khmelnytsky, – 2014. – № 4. – P. 103.[in Ukrainian]
2. Taranuha V.Y. Intellectual word processing: the manual. Kyiv: Electronic publication Online Faculty,– 2014. – P. 80.[in Ukrainian]
3. Vavilenkova A.I. Analysis methods for processing text in formation. Journal of The National Technical University "HPI". Computer science and modeling. Harkiv, – 2013.– № 39.– P. 35-40.[in Ukrainian]
4. Pospelov G.S., Irikov V.A. Software and tselevoe Planning and management, – Moscow, – 1976. –P. 438.[in Russian]
5. Teslya Y.N. Introduction to Computer Science Nature // Kyiv: Macalut, – 2010. – P. 256.[in Russian]
6. Fayn V.S. Pattern recognition and machine understanding of natural language, – Moscow. – 1987. – P. 173.[in Russian]
7. Bisikalo O.V. Formal methods imagery analysis and synthesis of natural structures: monograph. VNTU, – Vinitsya. –2013. – P. 316.[in Ukrainian]

Рецензія/Peer review : 12.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Білощицький А. О.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ КОМПРЕСІЇ-ДЕКОМПРЕСІЇ ЦИФРОВИХ ВІДЕОДАНИХ

В роботі проведено аналіз основних методів та алгоритмів компресії-декомпресії цифрових відеоданих. Розглянуто основні характеристики методів та показники стиску алгоритмів. Виділено переваги та недоліки методів та алгоритмів. Визначено вплив використання комбінацій методів компресії-декомпресії цифрових відеоданих на результати виконання основних алгоритмів стиску.

Ключові слова: стиск з втратами, стиск без втрат, цифрова обробка відео, компресія-декомпресія, метод, алгоритм.

Y.W. KORPAN

Cherkassy State Technological University, Cherkassy, Ukraine

ANALYSIS OF METHODS AND ALGORITHMS OF A COMPRESSION-DECOMPRESSION DIGITAL VIDEO

It is known that a large amount of information that is transmitted over digital communication systems, accounted for graphic video information, the development and improvement of methods and algorithms for compression-decompression of data is an important task. However in the paper identified the effect of using combinations methods of compression-decompression of digital video data on the results the basic compression algorithms. Ways of improving the degree of compression digital video data. To achieve this goal has been made as follows: the basic characteristics of the methods of compression-decompression digital video data; a systematic analysis of the main indicators compression algorithms - Run Length Encoding, Vector Quantization, Discrete Cosine Transform, Discrete Wavelet Transform, use the difference frame motion compensation; it highlights the advantages and disadvantages of the methods and algorithms.

Keywords: lossy compression, lossless compression, digital video compression-decompression method, algorithm.

Вступ

Відомо, що на сьогоднішній день все більше і більше цифрової інформації, яка передається по мережі зв'язку, припадає на відеотрафік. Тобто на цифрову інформацію у вигляді відеоданих, які є досить ресурсоемними. Відеопоток характеризується роздільною здатністю, частотою кадрів та системою представлення кольорів. Розподільчі здатності: 720×576 та 640×480 з частотою 25 кадр/сек (стандарт PAL або SECAM) та 30 кадр/сек (стандарт NTSC); 352×288 – стандарт CIF (Common Interchange Format) використовують при роботі на частотах 5...30 кадр/сек; 176×144 – стандарт QCIF (Quartered Common Interchange Format) використовують при роботі на частотах 5...30 кадр/сек. Якщо провести розрахунок об'єму даних, що буде займати, наприклад, одна година відеоінформації з розподільчою здатністю 720×576 отримаємо приблизно 104 Гб. Цей об'єм навіть на сьогоднішній день є досить великий. Тому до цифрових відеоданих застосовують методи та алгоритми компресії-декомпресії. Отже розробка нових та удосконалення існуючих методів та алгоритмів компресії-декомпресії відеоданих є актуальною задачею.

Аналіз особливостей методів компресії-декомпресії цифрових відеоданих

Технології компресії-декомпресії відеоданих – сукупність методів та алгоритмів стиску та видалення надлишкових відеоданих з метою оптимізації зберігання файлів цифрового відео та їх передачі по мережі. Ефективні технології стиску дозволяють значно зменшити об'єм відеоданих при збереженні (або частковій втраті) якості. Існує велика кількість методів та алгоритмів стиску текстової інформації [1], зображень та відеоданих [2, 3], які відповідають як спеціалізованим так і галузевим стандартам.

На рисунку 1 представлено основні методи компресії-декомпресії відеоінформації.

Основні методи стиску відеоданих зводяться до компресії інформації всередині окремого кадру та оптимізації в передачі змін між кадрами. Тому що навіть при розгляді статичного зображення видно, що в ньому багато однотипної та дублюючої інформації.

Стиснення відео засноване на двох важливих принципах. Перший – це просторова надмірність, притаманна кожному кадру відеоряду. А другий принцип заснований на тому факті, що більшу частину часу кожен кадр схожий на свого попередника. Це називається тимчасова надмірність. Таким чином, типовий метод стиснення відео починається з кодування першого кадру за допомогою деякого алгоритму компресії зображення. Потім слід кодувати кожний наступний кадр, знаходячи розбіжність або різницю між цим кадром і його попередником і кодуючи цю різницю. Якщо новий кадр сильно відрізняється від попереднього, то його можна кодувати незалежним чином.

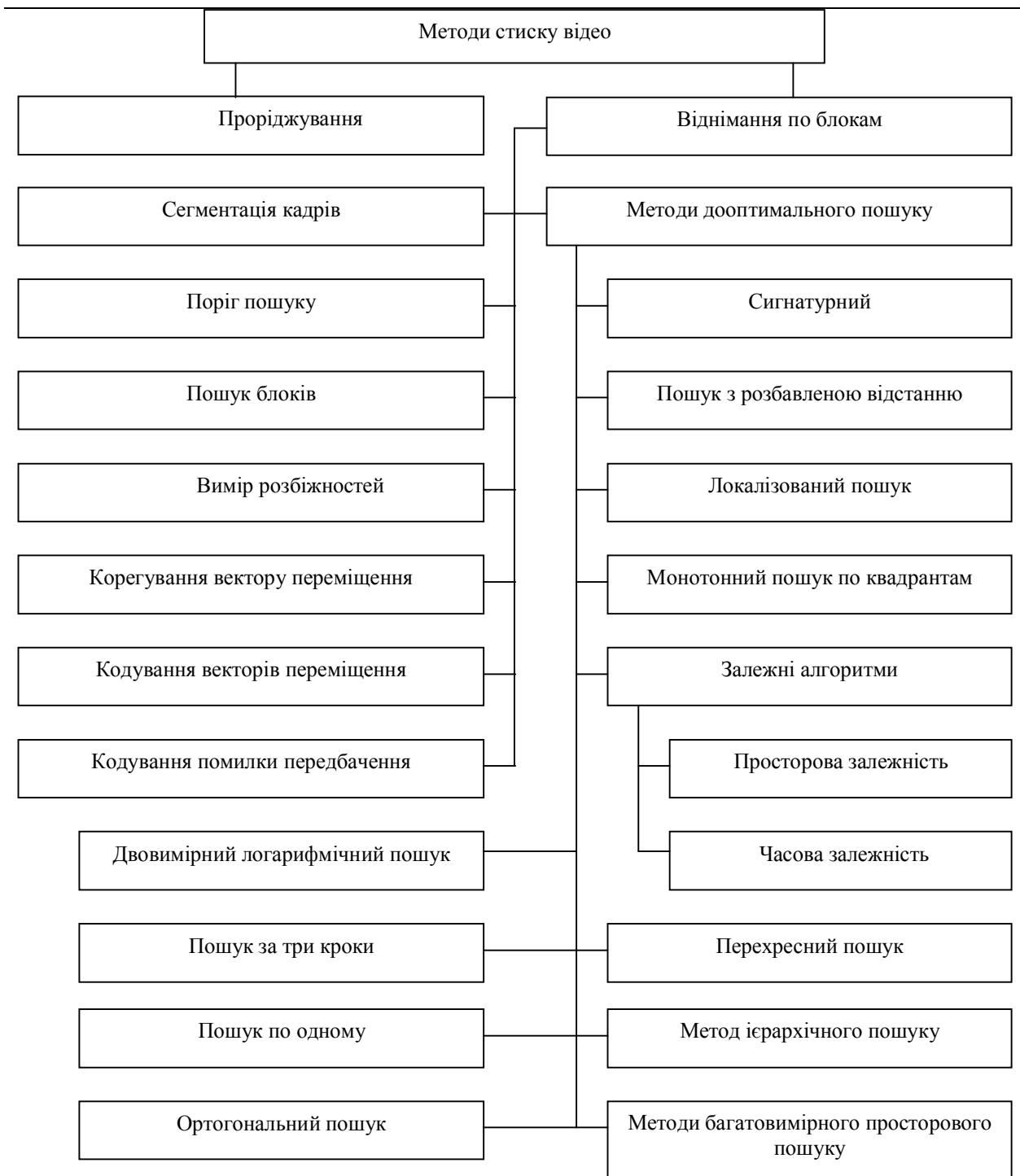


Рис. 1. Класифікація основних методів компресії-декомпресії відеоінформації

Аналіз особливостей алгоритмів компресії-декомпресії цифрових відеоданих

Алгоритми стиснення відео.

1. Алгоритм Run Length Encoding (RLE). RLE кодує послідовність повторюваних елементів зображення або одноколірних елементів одним кодовим словом. Даний алгоритм застосовується в компресорах MRLE для кодування коефіцієнтів в швидкому алгоритмі дискретно-косинусного перетворення (ШАДКП), а також в стандартах MPEG-1, MPEG-2, MPEG-3, MPEG-4, H.261, H.263 і JPEG [4]. Недоліки: працює лише з 8-бітовими зображеннями; стиск повнокольорового відео даним алгоритмом не має сенсу, тому що в такому відео в кадрах повторень кольору мало.

2. Векторна квантизація (Vector Quantization, VQ). Основна ідея векторної квантизації полягає в розбитті зображення на блоки (розміром 4x4 пікселя). Як правило, деякі блоки виявляються схожими один на одного. У цьому випадку схожі блоки замінюються одним спільним блоком. Найбільше стиснення з використанням алгоритму VQ досягається шляхом зменшення числа класів загальних блоків, тобто припущенням про схожість щодо більшого числа блоків зображення. Переваги алгоритму - процес декодування дуже швидкий. Недоліки - процес компресії дуже трудомісткий і потребує додаткового

обладнання; спостерігаються блокові спотворення при високих коефіцієнтах стиснення.

3. Алгоритм дискретного косинусного перетворення (ДКП) [5]. Стандарти, в яких використовується ДКП: Motion JPEG; Editable MPEG; MPEG-1; MPEG-2; MPEG-4; H.263. В цих стандартах використовується, зокрема, 2-мірне ДКП, що застосовується послідовно до блоків зображення розмірністю 8x8 пікселів, тобто обчислюються 64 коефіцієнти, які потім квантизуються. У більшості зображень відеоданих більшість ДКП-коефіцієнтів після квантування обнуляється. Ця властивість ДКП і лежить в основі інших алгоритмів стиснення.

Двовимірне ДКП являє собою одновимірний ДКП, що застосовується послідовно для кожного рядка блоку пікселів і кожної колонки блоку пікселів, отриманого від одновимірного ДКП рядків. Одновимірне ДКП застосовується до N вибірок. ДКП є матриця розмірності N×N, рядки якої представляють собою косинусні функції:

$$ДКП(m, n) = \sqrt{\frac{1 - \Delta(m, 1)}{N}} \cdot \cos\left(\frac{p}{N} \cdot \left(n - \frac{1}{2}\right) \cdot (m - 1)\right),$$

де ДКП (m, n) є одновимірна матриця ДКП

m, n = 1, ..., N;

N = число вибірок в блоці;

$\Delta(m, 1) = 1$ якщо m = 1 і 0 в іншому випадку

З формули видно, що застосування ДКП на блоці з N вибірок потребують N·N операцій множення та додавання. Однак завдяки рекурсивній структурі матриці ДКП потрібна менша кількість математичних операцій, а саме N log (N). Ця властивість дозволяє застосовувати ДКП на сучасних математичних процесорах комп'ютерних систем.

Недоліки алгоритму: поява блоковості при високій компресії; "розмивання" гострих країв зображень; процес компресії-декомпресії дуже трудомісткий.

4. Алгоритм дискретного Wavelet-перетворення (DWT). DWT-алгоритм заснований на передачі сигналу, наприклад зображення, через пару фільтрів: низькочастотний і високочастотний. Низькочастотний фільтр видає грубу форму вихідного сигналу. Високочастотний фільтр видає сигнал різниці або додаткової деталізації. У свою чергу, результат на виході високочастотного фільтра (додатковий сигнал деталізації) може бути підвернутий тією ж процедурою і так далі. Простим прикладом DWT є DWT Хара. Але перетворення Хара використовується в основному в області стиснення зображень. Для інших цілей використовуються більш складні фільтри перетворень. Стиснення ж досягається в основному за рахунок застосування деякої форми квантування (скалярної або векторної) до додаткового сигналу деталізації. Далі до отриманих коефіцієнтам перетворення застосовується техніка імовірнісного (ентропійного) кодування.

Стандарти, що використовують DWT (Discrete Wavelet Transform): Intel Indeo 5.x; Intel Indeo 4.x

Переваги алгоритму: більшість як статичних, так і динамічних зображень, не має характерної для алгоритму ДКП блокової структури; якість зображень краще ніж якість зображень, стислих за допомогою ДКП (при тих самих коефіцієнтах стиснення). Недолік алгоритму - виникнення так званого контурного шуму (ефект Гібса).

5. Алгоритм використання різниці кадрів. Алгоритм різниці кадрів використовує той фактор, що в багатьох відео зображення від кадру до кадру мало чим різняться. По мірі застосування алгоритму векторного квантування для кодування кожного наступного кадру та отримання при цьому малих коефіцієнтів, які важко кодуються, в кадрах поступово накопичуються помилки. Це вимагає включення в відеоряд так званих ключових кадрів, які кодуються без урахування попередніх і є опорними точками у відео. Перевага алгоритму - може забезпечуватися стиск краще, ніж незалежний стиск окремих кадрів. Основний недолік - наявність додаткового кадру.

6. Алгоритм компенсації руху. Компенсація руху заснована на використанні ряду складних алгоритмів. Даний алгоритм буде найефективнішим тоді, коли у відеоряді, який стискається, об'єкт змінює своє місце розташування відносно нерухомого фону. Об'єкти, що змінюються за формою, що наближаються або віддаляються, не підлягають ефективному стисненню за допомогою алгоритму компенсації руху. Стиснення можливо завданням вектору зміщення елементів зображення замість зберігання великих значень нових координат даних елементів зображення. Основним блоком може бути будь-який блок зображення розміром 16×16 пікселів, який максимально схожий на блок, що кодується. Отже кадр, на який посилаються таким чином інші кадри, повинен бути декодований раніше. Проте зовсім не обов'язково, щоб опорний кадр передував кадру, який передбачається.

Алгоритм використовується в стандартах MPEG-1,2 та 4. MPEG дозволяє проводити передбачення в обох напрямках шляхом введення так званих bi- кадрів.

Відомо, що сумісна робота декількох алгоритмів називається відеокодеком. Відеокодеки, які використовують різні стандарти, як правило не сумісні. В таблиці 1 представлено основні стандарти, які використовують перелічені вище методи та алгоритми компресії-декомпресії відеоданих. Слід зазначити, що стандарти є гарантією коректної компресії-декомпресії відеоданих.

Аналіз основних стандартів, представлених у таблиці. 1, а також методів та алгоритмів, які в них використовуються, дозволяють виділити декілька типів збитковості при компресії-декомпресії цифрового відеопотоку:

Таблиця 1

Порівняльний аналіз алгоритмів стиску графічної інформації

Стандарт	Потік	Розподільча здатність/ стандарт	Ступінь стиску	Підтримка звукового потоку	Застосування	Переваги	Недоліки
M-JPEG	довільний	довільна	5-10 раз			Забезпечує довільний доступ; легко редагувати потік; низька вартість апаратної реалізації.	Досить низька ступінь стиску.
MPEG-1	1,5 Мбіт/с	352×240×30, 352×288×25		MPEG-1 Layer II	VideoCD (першого покоління)	Проста реалізації; підтримується великою кількістю відеокарт.	Невисока ступінь стиску. Мала гнучкість формату.
H.261	0,04-2 Мбіт/с	352×288×30, 176×144×30	Залежить від методу знаходження «схожих» макроблоків у попередньому кадрі.	не підтримує	Відео конференції, апаратно реалізовані кодеки	Проста апаратурної реалізації.	Невисока ступінь стиску. Обмеження на формат.
H.263	0,04-20 Мбіт/с	sub-QCIF, QCIF, CIF, 4CIF, 16CIF та налаштовані окремо		підтримує стиск звуку	Апаратно реалізовані кодеки, відеотелефони, відеоконференції	Швидка апаратурна реалізація при збереженні високої ступені стиску та якості;	По кількості заложених ідей знаходиться між MPEG-2 та MPEG-4
MPEG-2	3...10 Мбіт/с	довільна		MPEG-1 Layer II, Dolby Digital 5.1, DTS	DVD Video, Blu-ray, Digital Video Broadcasting, SVCD	Підтримує звукові стандарти, висока універсальність, відносна простота апаратурної реалізації.	Недостатня ступінь стиску, недостатня гнучкість.
MPEG-4	0,0048-20 Мбіт/с	підтримує усі основні стандарти відеопотоків		MPEG-1 Layer II, MPEG-1 Layer III, Dolby Digital 5.1, DTS	VideoCD (другого покоління)	Підтримка прогресивних звукових стандартів; висока універсальність; підтримка нових технологій.	Висока складність реалізації.
MPEG-3 не прийнятий	20-40 Мбіт/с	Телебачення високої якості			HDTV		

- когерентність ділянок зображення;
- збитковість в кольорових плоскостях;
- подібність між кадрами.

Отже пропонується, для підвищення ступеню стиску цифрового відеопотоку, використовувати наступні кроки:

- зміна алгоритму стиску I-кадрів;
- зміна алгоритму стиску без втрат;
- зміна алгоритму роботи з векторами зміщення блоків;
- застосування обробки коефіцієнтів;
- застосування обробки отриманих кадрів;
- покращення алгоритмів масштабування зображень;
- застосування попередньої обробки відео.

Перелічені кроки рекомендується використовувати як у комплексі, так і окремо в залежності від початкових умов процесу компресії-декомпресії цифрового відеопотоку, а також вимог до ступеню стиску та якості відновлення.

У роботі визначено вплив використання комбінацій методів компресії-декомпресії цифрових відеоданих на результати виконання основних алгоритмів стиску. Для досягнення цієї мети було зроблено наступне:

- розглянуто основні характеристики методів та показники стиску алгоритмів;
- виділено переваги та недоліки методів та алгоритмів.
- приведено системний аналіз основних методів та алгоритмів стиску графічної інформації.

Запропоновано шляхи підвищення степені стиску цифрових відеоданих.

Література

1. Нечипоренко О. В. Системный анализ и оценка методов сжатия данных для баз данных лазерных технологических комплексов / О. В. Нечипоренко, С. А. Миценко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 1. – С. 94–100.
2. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 384 с.
3. Селомон Д. Сжатие данных, изображений и звука. / Д. Селомон. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
4. Ричардсон Я. Вideoкодирование H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. / Я. Ричардсон. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с.
5. Тропченко А. Ю. Анализ современных стандартов сжатия видеоданных / А. Ю. Тропченко, И. Н. Курносенков // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2006. – Вып. 32. – С. 17-21.

References

1. Nechiporenko O. V. *Sistemnyj analiz i ocenka metodov szhatiya dannyx dlya baz dannyx lazernyx tehnologicheskix kompleksov* / O. V. Nechiporenko, S. A. Mitsenko // Visnik Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2014. Issue 1. pp. 94–100.
2. *Metody' szhatiya danny'x. Ustrojstvo arxivatorov, szhatie izobrazheniya i video* / D. Vatolin, A. Ratushnyak, M. Smirnov, V. Yukin. Moscow. DIALOG-MIFI. 2003. 384 p.
3. Selomon D. *Szhatie danny'x, izobrazhenij i zvuka*. / Selomon D. Moscow. Texnosfera. 2004. 368 p.
4. Richardson Ya. *Videokodirovanie N.264 i MPEG-4 – standarty' novogo pokoleniya*. / Richardson Ya. Moscow. Texnosfera. 2005. 368 p.
5. Tropchenko A. Yu. *Analiz sovremennyx standartov szhatiya videodannyx* / A. Yu. Tropchenko, I. N. Kurnosenkov // Nauchno-technicheskij vestnik SPbGU ITMO. - 2006. - No. 32. - pp. 17-21.

Рецензія/Peer review : 14.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.5.2015 р.
Рецензент: д.т.н., доцент Палагін В.В.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ КІЛЬКІСНОГО ВМІСТУ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ

В роботі розроблено математичну модель, що адекватно описує засіб вимірювального контролю кількісного вмісту скрапленого нафтового газу, який дозволяє визначати не тільки вміст пропану й бутану, але й домішок. Наведено структурні схеми засобу та алгоритм вимірювального контролю.

Ключові слова: скраплений нафтовий газ, кількісний вміст, пропан, бутан, домішки.

Y.Y. BILINSKIY, B.P. KNYSH, M.O. STASIUK
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

THE MEASURING CONTROL OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS QUANTITATIVE VALUE TOOL MATHEMATICAL MODEL

Purpose of the work is improving the accuracy of measuring quantitative value of liquefied petroleum gas by developing a tools of measuring control based on thermometric method.

A mathematical model, that describes the physical processes and transformation while the measuring control tool of quantitative value of liquefied petroleum gas based on thermometric method is in operation, that allows to determine the quantitative value not only the main components of the mixture (propane and butane), but the impurities (ethylene, propylene, butylene, amylene, heksylen, heptylen) under the different temperature conditions, was developed in this work. The sensitivity of tool was defined and the block diagram and measuring control algorithm was provided in this paper.

Preliminary calculations of the conversion function and sensitivity values showed the availability of the measuring control of liquefied petroleum gas quantitative value tool.

Keywords: liquefied petroleum gas, quantitative value, propane, butane.

Вступ

На сьогодні знаходить широке використання скраплений нафтовий газ як паливо в двигунах автомобільного транспорту, так і установках муніципальних, промислових і сільськогосподарських об'єктів. Скраплений нафтовий газ (СНГ) – це суміш пропану (C_3H_8), бутану (C_4H_{10}) і домішок (приблизно 1%) – етилен, пропілен, бутилен, амілен, гексилен, гептилен тощо. Незважаючи на незначну частку домішок, їх вплив протягом довготривалого періоду на технологічне обладнання погіршує його роботу та може призвести до його виходу з ладу. Це пов'язано з їх недостатньою розчинністю (етилен, пропілен, бутилен) та активним окисленням (амілен, гексилен, гептилен) [1].

Дослідження СНГ передбачає наявність різноманітних методів вимірювання таких його параметрів як тиск, маса, густина, кількісний вміст тощо. Для визначення кількісного вмісту найбільш відомими методами є хроматографічний, який дає змогу визначити вміст як основних компонентів, так і домішок, хімічний, за допомогою якого визначаються наявність рідкого залишку, вільної води та лугу, радіохвильовий та радіочастотний методи, які дозволяють визначити масові частки складових СНГ [2].

На основі вищенаведених методів реалізовано сенсори, такі як одориметри, хроматографи, різноманітні мірники тощо. Але основними недоліками зазначених сенсорів є висока вартість, складність процесу вимірювання та низька точність, що пов'язана з визначенням співвідношення лише суміші пропан-бутан, тоді як наявність домішок не завжди враховується [3].

Таким чином, метою роботи є підвищення точності вимірювання кількісного вмісту СНГ шляхом розробки засобу вимірювального контролю на основі термометричного методу.

Основна частина

В роботі [4] запропоновано термометричний метод визначення кількісного вмісту СНГ шляхом вимірювання його густини при нагріванні або охолодженні з певним кроком. Отримані таким чином характеристики порівнюються з еталонними та на їх основі шляхом математичних перетворень визначають кількісний вміст СНГ. Одну із схемних реалізацій функціональних перетворень термометричного методу визначення кількісного вмісту СНГ показано на рисунку 1.

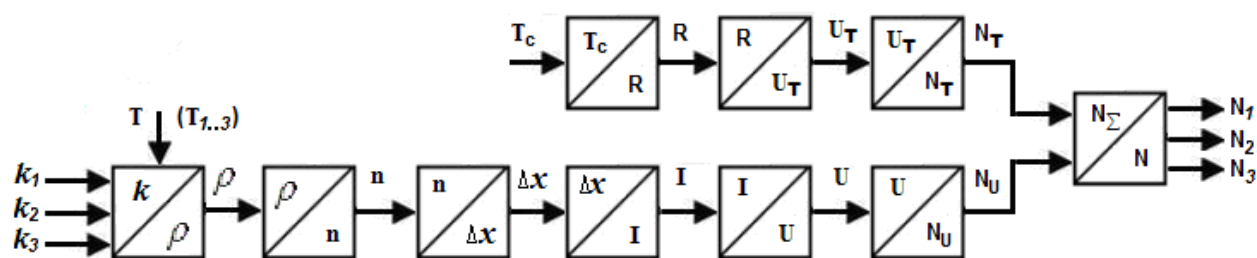


Рис. 1. Схема функціональних перетворень кількісного вмісту СНГ

Кількісний вміст пропану k_1 , бутану k_2 та домішок k_3 визначається наступним чином. При зміні температури T ($T_{1..3}$) СНГ змінюється його густина r , яка складається з густин пропану r_1 , бутану r_2 та домішок r_3 , які можна представити в кількісних співвідношеннях як k_1 , k_2 , k_3 , відповідно. Густина r СНГ при певній температурі прямо пропорційна показнику заломлення n , який може бути визначений на основі імерсійного методу за зміщенням променя Δx , який поступає на складений фотоприймач. Струм I фотоприймача дозволяє отримати на виході вимірювального каналу значення напруги U , що пропорційна густині r . При цьому температура СНГ T_c контролюється сенсором температури, що дає змогу через зміну величини його опору R отримати значення напруги U_T на його виході. В подальшому отримані значення напруг оцифровують за допомогою АЦП. Отримані значення кодів N_U та N_T для вимірювального каналу та сенсора температури обчислюються для декількох значень температури згідно [4], що дає змогу визначити концентрації пропану, бутану та домішок, відповідно.

Таким чином, на основі методу визначення кількісного вмісту густина СНГ описується як $r = k_1 r_1 + k_2 r_2 + k_3 r_3$, причому $r = PM(0.153RT)^{-1}$, де r_1 – густина пропану; r_2 – густина бутану; r_3 – густина домішок; R – універсальна газова стала; M – молекулярна маса; P – абсолютний тиск СНГ при температурі T . [5].

Одним із основних методів визначення густини є рефрактометричний, який дозволяє її вимірювати через показник заломлення, причому $n = 1.4752 - \frac{9.591}{M + 9.5}$ [4]. Тоді залежність показника заломлення СНГ від його густини описується як

$$n = 1.4752 - \frac{9.591}{0.153RT r P^{-1} + 9.5}.$$

Процес перетворення показника заломлення n в зміщення променя Δx , зображений на рисунку 1, можна проілюструвати на основі імерсійного методу [6].

Пройдення світла через товщу СНГ представлено на рисунку 2.

Бокове зміщення променя

$$x = d \sin a \left(1 - \cos a (n^2 - \sin^2 a)^{-\frac{1}{2}} \right),$$

де d – товщина шару СНГ.

Тоді зміщення променя

$$\Delta x = d \cdot \operatorname{tg} a \left(1 - \cos a (n^2 - \sin^2 a)^{-\frac{1}{2}} \right).$$

З урахуванням показника заломлення

$$\Delta x = d \cdot \operatorname{tg} a \left(1 - \cos a \cdot \left(\left(1.4752 - \frac{9.591}{0.153RT r P^{-1} + 9.5} \right)^2 - \sin^2 a \right)^{-\frac{1}{2}} \right).$$

Процес перетворення зміщення променя Δx в струм I , можна представити через залежність величини сигналу, який реєструється фотоприймачем, від потоку оптичного випромінювання Φ_{np} , який поглинув фотоприймач за час накопичення

$$I = S_{\phi n} \int_0^{T_n} \Phi_{np}(t) dt,$$

де $S_{\phi n}$ – інтегральна чутливість фотоприймача;

T_n – час накопичення заряду.

Величина потоку випромінювання, що падає на поверхню фотоприймача

$$\Phi_{np} = S_{np} S_{зон}^{-1} \Phi_{дж},$$

де S_{np} – площа фотоприймача;

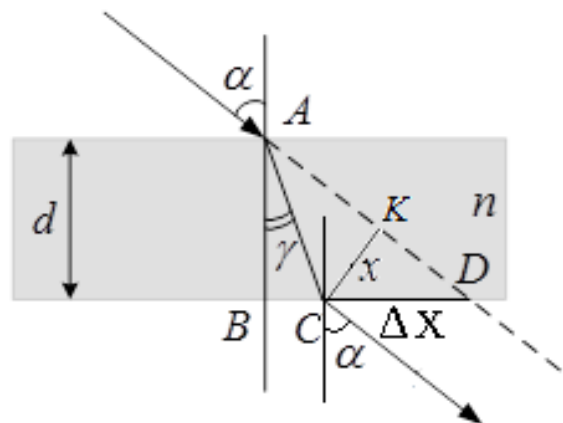


Рис. 2. Проходження світла через товщу СНГ

$S_{зон}$ – площа зони потрапляння променя в область розміщення фотоприймача;

$\Phi_{дж}$ – потік випромінювання від джерела світла.

Площа зони потрапляння променя

$$S_{зон} = \Delta x \cdot b,$$

де b – ширина світлової смуги.

Тоді значення струму на виході фотоприймача

$$I = \frac{S_{\phi n} \cdot S_{np}}{d \cdot b \cdot tga} \left(1 - \cos a \cdot \left(\left(1.4752 - \frac{9.591}{0.153RTrP^{-1} + 9.5} \right)^2 - \sin^2 a \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{-1} \int_0^{T_n} \Phi_{дж}(t) dt.$$

Вихідний сигнал фотоприймача підсилюється за допомогою підсилювачів, вихідна напруга яких $U_{вихбн}$ надходить на мікропроцесор і дорівнює добутку вхідної напруги $U_{вхбн}$ на коефіцієнт перетворення $K_{бн}$

$$U_{вихбн} = U_{вхбн} \cdot K_{бн}.$$

Оскільки вхідна напруга підсилювача $U_{вхбн} = (U_{он} - I \cdot R) \cdot K_n$, то вихідна його напруга визначається

$$U_{вихбн} = (U_{он} - I \cdot r) \cdot K_n \cdot K_{бн},$$

де r – опір підсилювача;

K_n – коефіцієнт підсилення;

$U_{он}$ – опорна напруга.

Таким чином отримаємо напругу засобу вимірювального контролю кількісного вмісту СНГ

$$U_{вихбн} = \left(U_{он} - \frac{S_{\phi n} \cdot S_{np} \cdot r}{d \cdot b \cdot tga} \left(1 - \cos a \cdot \left(\left(1.4752 - \frac{9.591}{\frac{0.153RTr}{P} + 9.5} \right)^2 - \sin^2 a \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{-1} \int_0^{T_n} \Phi_{дж}(t) dt \right) K_n K_{бн}.$$

АЦП, який міститься в мікропроцесорі, має n розрядів, причому максимальна напруга, яку він може оцифрувати, дорівнює U_{max} . Значення коду АЦП визначається

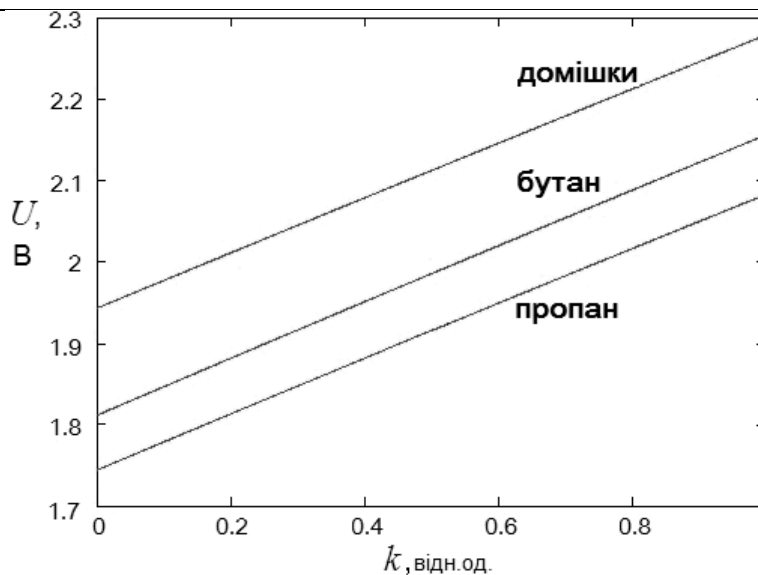
$$N = \frac{U_{max}}{U_{он}} (2^n - 1).$$

Оскільки максимальна напруга U_{max} є вхідною напругою на мікропроцесор $U_{вихбн}$, то значення коду АЦП набуває вигляду

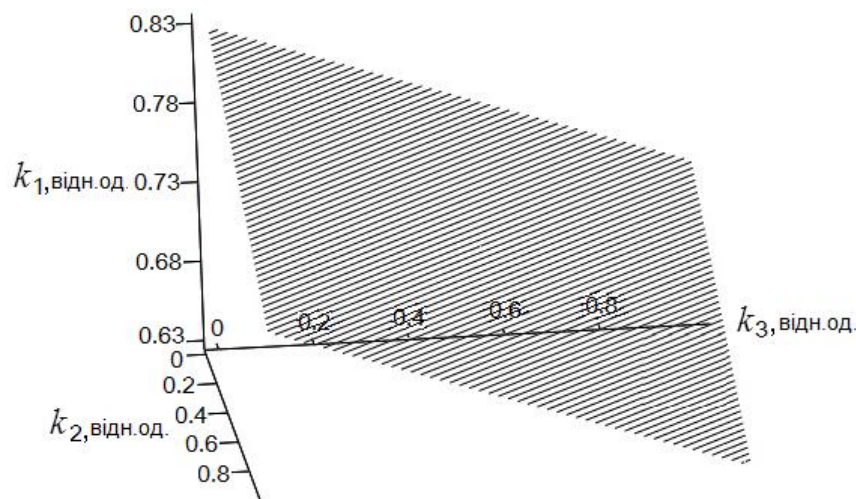
$$N = \left(1 - \frac{S_{\phi n} S_{np} r}{U_{он} d b tga} \left(1 - \cos a \cdot \left(\left(1.4752 - \frac{9.591}{\frac{0.153RTr}{P} + 9.5} \right)^2 - \sin^2 a \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{-1} \int_0^{T_n} \Phi_{дж}(t) dt \right) K_n K_{бн} (2^n - 1).$$

Залежність напруги U від кількісних вмістів пропану, бутану та домішок зображено на рисунку 3.

Отримані залежності вказують на те, що із збільшенням кількісного вмісту компонентів СНГ напруга засобу вимірювального контролю збільшується. Отже, зміна функції перетворення має лінійний характер. Тобто напруга U збільшується в діапазоні від 1,75 до 2,08 В при збільшенні кількісного вмісту пропану від 0 до 1 відн. од. Напруга U збільшується в діапазоні від 1,81 до 2,15 В при збільшенні кількісного вмісту бутану від 0 до 1 відн. од. Напруга U збільшується в діапазоні від 1,95 до 2,28 В при збільшенні кількісного вмісту домішок від 0 до 1 відн. од.

Рис. 3. Залежність напруги U від кількісних вмістів пропану, бутану та домішок

Взаємозалежність кількісних вмістів пропану k_1 , бутану k_2 та домішок k_3 зображено на рисунку 4.

Рис. 4. Взаємозалежність кількісних вмістів пропану k_1 , бутану k_2 та домішок k_3

Як видно з рисунку, із збільшенням одного кількісного вмісту інший зменшується і навпаки. Отже, зміна функції перетворення для кількісних вмістів пропану, бутану та домішок має лінійний характер. Тобто k_1 зменшується при збільшенні k_2 та k_3 по всьому діапазону значень, а саме від 0 до 1 відн. од. k_2 збільшується при зменшенні k_1 та k_3 по всьому діапазону значень, а саме від 0,83 до 0,7 відн. од. для k_1 і від 1 до 0 відн. од. для k_3 . k_3 зменшується при збільшенні k_1 та k_2 по всьому діапазону значень, а саме від 0,7 до 0,83 відн. од. для k_1 та від 0 до 1 відн. од. для k_2 .

Чутливість засобу вимірювального контролю кількісного вмісту компонентів СНГ, а саме пропану, бутану та домішок, визначається як

$$\frac{\partial U}{\partial k} = \frac{0.73S_{\phi n}S_{np}K_R\Phi_{\text{дож}}^2 \cos a \left(1.4752 - \frac{9.591}{0.153RTrP^{-1} + 9.5} \right)}{dbtga \left(1 - \cos a \cdot \left(\left(1.4752 - \frac{9.591}{0.153RTrP^{-1} + 9.5} \right)^2 - \sin^2 a \right)^{\frac{1}{2}} \right)^2}.$$

$$\cdot RTr_1 K_n K_{\text{он}} \cdot \left(\sqrt{\left(1.4752 - \frac{9.591}{0.153RTrP^{-1} + 9,5} \right)^2 - \sin^2 a} \right)^3 (0.153RTrP^{-1} + 9,5)^2 P$$

Графік чутливості засобу вимірювального контролю кількісного вмісту компонентів СНГ, а саме пропану, бутану та домішок, зображено на рисунку 5.

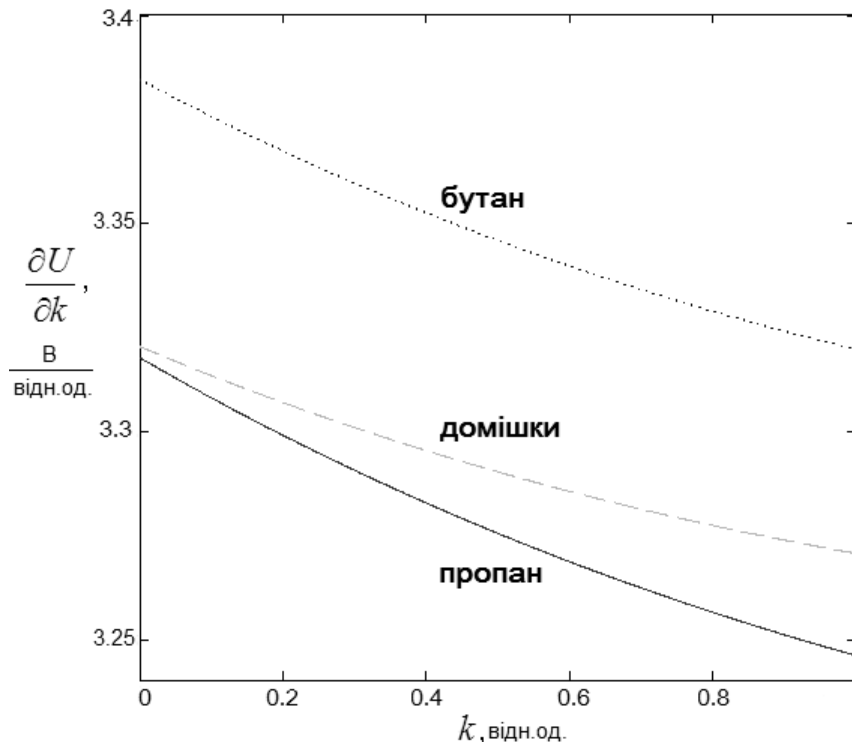


Рис. 5. Графік чутливості засобу вимірювального контролю кількісних вмістів пропану, бутану та домішок

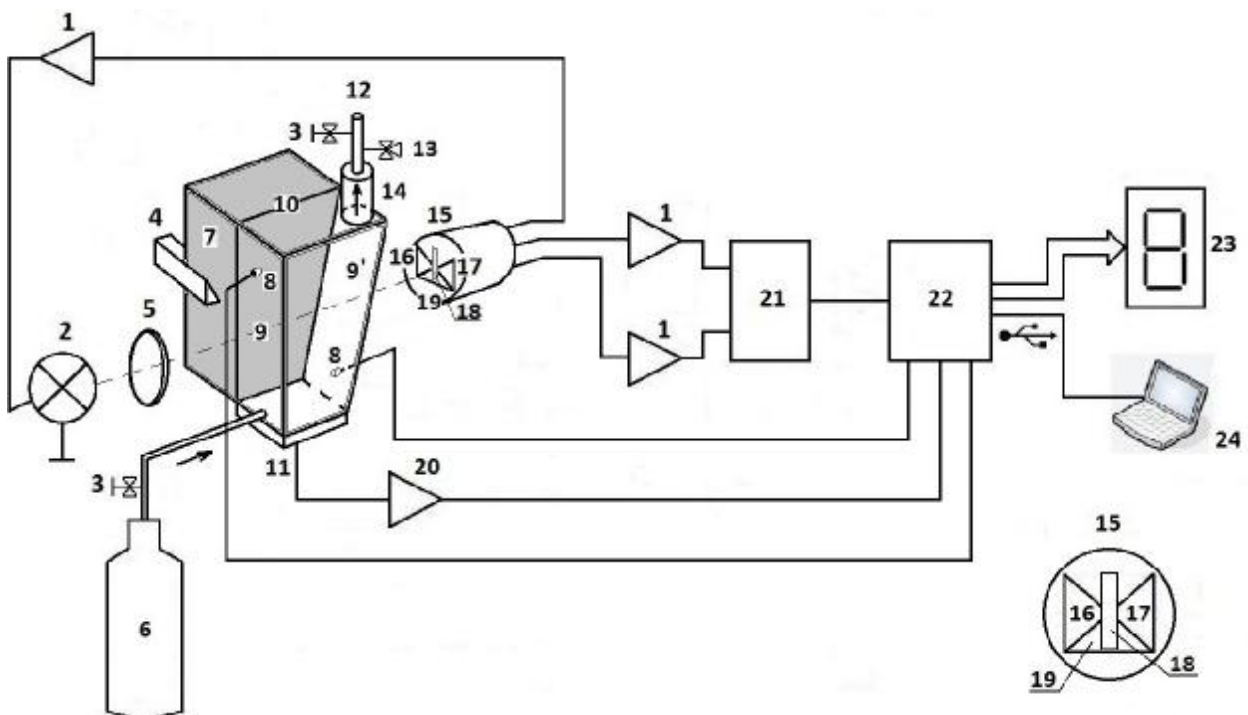


Рис. 6. Структурна схема засобу вимірювального контролю кількісного вмісту СНГ

Як слідує з аналізу графіка, чутливість засобу вимірювального контролю кількісних вмістів пропану, бутану та домішок знаходиться в межах 0,02 В/відн.од., що забезпечує високу точність вимірювання кількісного співвідношення не тільки пропану й бутану, але й домішок.

Для визначення кількісного вмісту СНГ розроблено засіб вимірювального контролю, структурна схема якого наведена на рисунку 6, що містить джерело випромінювання 2, оптичну систему 5, яка формує паралельний світловий потік у вигляді світлової смужки 18, кювету 10, яка містить вертикальну 9 та похилу 9' стінки, поршень 7, що рухається за допомогою штока 4, мірник 14 з вивідним патрубком 12, який містить вентиль 3 та клапан 13, балон 6, який за допомогою вентиля 3 подає у кювету 10 СНГ, сенсори температури 8, елемент нагрівання 11, підсилювачі 1, підсилювач елемента нагрівання 20, систему фотоприймачів 15, яка складається з лівого 16, правого 17 та опорного 19 фотоприймачів, блок порівняння 21, мікропроцесорний пристрій 22, індикаторне табло 23, комп'ютер 24.

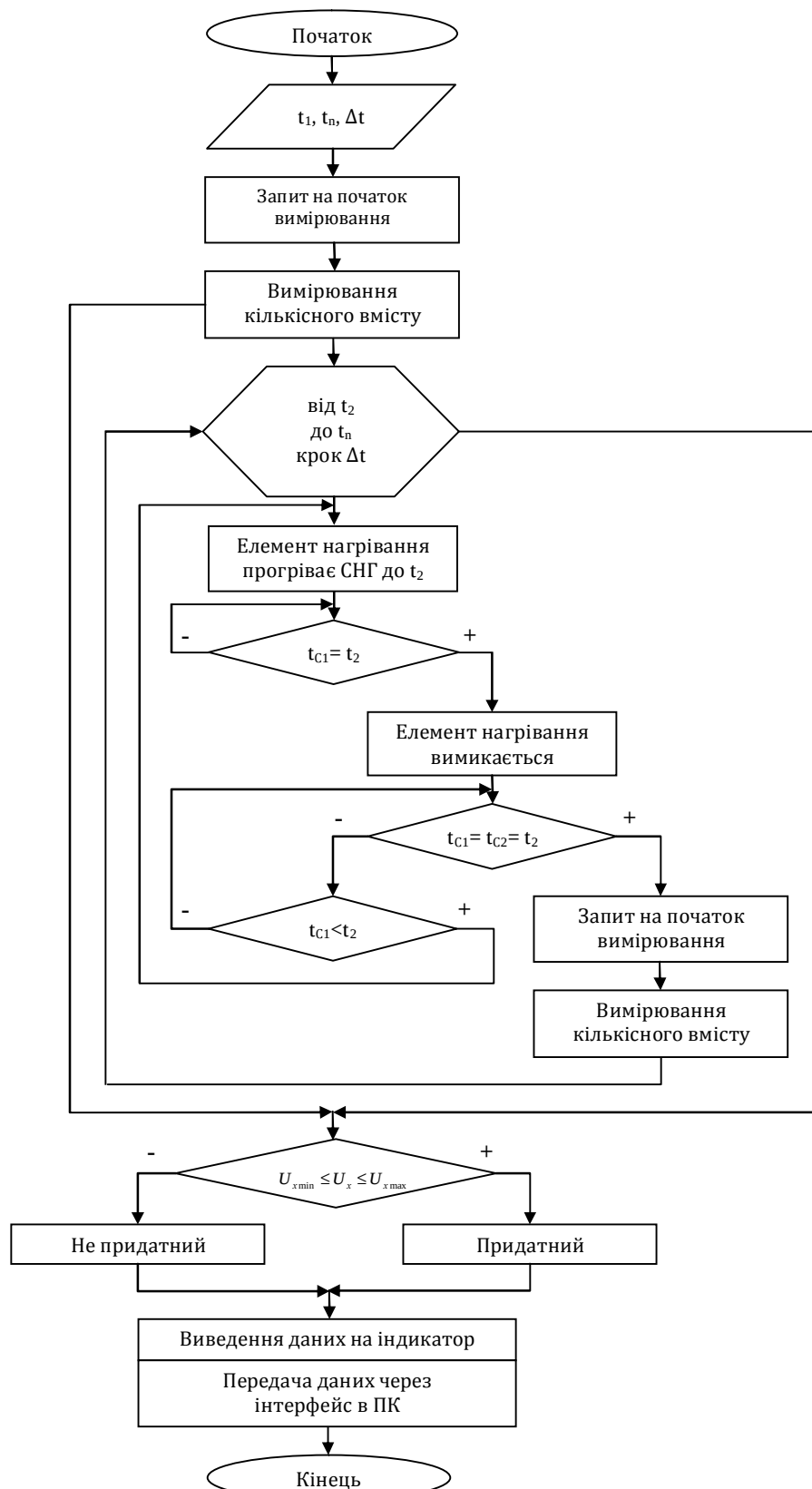


Рис. 7. Алгоритм вимірювального контролю кількісного вмісту СНГ

СНГ подається з балону 6 за допомогою вентиля 3 у вимірювальну кювету 10, де відбувається його нагрівання елементом нагрівання 11, завдяки напрузі, яка задається мікропроцесорним пристроєм 22 та підсилюється за допомогою підсилювача елемента нагрівання 20. У випадку досягнення однакової температури СНГ по всьому об'єму вимірювальної кювети 10 сенсори температури 8 направляють сигнали до мікропроцесорного пристрою 22 і розпочинається процес вимірювання. Світловий потік від джерела випромінювання 2 фокусується за допомогою оптичної системи 5, яка формує світлову смужку 18, проходить через вертикальну 9 стінку вимірювальної кювети 10, в якій знаходиться СНГ та через похилу 9 стінку вимірювальної кювети 10 потрапляє на приймач випромінювання 15, який представляє собою систему фотоприймачів, причому напруга від опорного фотоприймача 19 надходить через підсилювач 1 до джерела випромінювання 2. Значення напруги лівого 16 та правого 17 фотоприймачів, що характеризує зміщення вліво чи вправо світлової смужки 18, через підсилювачі 1, надходить на блок порівняння 21, обробляється мікропроцесорним пристроєм 22 і виводиться на цифрове індикаторне табло 23 та через інтерфейс USB на комп'ютер 24. Відпрацьований СНГ витискається поршнем 7 за допомогою штока 4 спочатку у мірник 14, а потім завдяки вентилю 3 та клапану 13 виводиться через вивідний патрубок 12.

Опис роботи засобу вимірювального контролю кількісного вмісту СНГ можна проілюструвати алгоритмом, який зображено на рисунку 7.

Процес вимірювання кількісного вмісту СНГ відбувається при температурі навколишнього середовища t_1 . Після цього СНГ нагрівається за допомогою елемента нагрівання в межах попередньо заданих температур $t_2 \dots t_n$ з кроком Δt . Під час нагрівання мікропроцесорний пристрій безперервно отримує сигнали з сенсорів температури C_1 та C_2 і в разі, якщо значення температур t_{C_1} (сенсор C_1) та t_{C_2} (сенсор C_2) рівні між собою та співпадають із заданою температурою, то розпочинається процес вимірювання кількісного вмісту СНГ. Після його закінчення для заданої температури здійснюються аналогічні операції для наступних температур.

В разі, якщо умова одночасної рівності заданої температури та t_{C_1} і t_{C_2} не виконується, то СНГ охолоджується нижче заданої температури і елемент нагрівання знов підігріває його. Цей процес відбувається до тих пір, поки умова одночасної рівності температур не буде виконуватись.

Після проведення заданої кількості вимірювань дані виводяться на індикаторне табло та через інтерфейс USB на комп'ютер.

Висновки

В роботі запропоновано математичну модель, що описує фізичні процеси та перетворення під час роботи засобу вимірювального контролю кількісного вмісту СНГ. Визначено чутливість засобу вимірювального контролю кількісного вмісту СНГ, яка знаходиться в межах 0,02 В/відн.од. Наведено структурну схему засобу вимірювального контролю та алгоритм, який описує його роботу. Попередні розрахунки функції перетворення та значення чутливості показали перспективність засобу вимірювального контролю кількісного вмісту СНГ.

Література

1. Рачевский Б. С. Сжиженные углеводородные газы / Б. С. Рачевский. – М.: Нефть и газ, 2009. – 640 с.
2. Радиочастотный метод измерения массы сжиженного углеводородного газа [Електронний ресурс] : Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://uteoss2012.ipu.ru/procdngs/0654.pdf>. – 03.07.2014.
3. Астахов А. Анализ нефтепродуктов с помощью хроматографических методов / А. Астахов // Оборудование и материалы. – 2013. – №3. – С. 48 – 53.
4. Книш Б. П. Визначення кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу / Б. П. Книш, Й. Й. Білинський, М. В. Гладішевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №1. – С. 112 – 119.
5. Преображенский Н. И. Сжиженные углеводородные газы / Н. И. Преображенский. – Л.: Недра, 1975. – 279 с.
6. Иоффе Б. В. Рефрактометрические методы химии / Б. В. Иоффе. – Л. : Химия, 1983. – 352 с.

Reference

1. Raachevsky B. S. Szhizhenye uglerodnye gazy / B. S. Raachevsky. – M.: Neft i gaz, 2009. – 640 s.
2. Radiochastotny metod izmereniya massy szhizhennogo uglerodnogo gaza [Elektronnyy resurs] : Ukrainian Context Optimizer. – Rezhym dostupu : <http://uteoss2012.ipu.ru/procdngs/0654.pdf>. – 03.07.2014.
3. Astahov A. Analiz nefteproduktov s pomoshchyu hromatograficheskikh metodov / A. Astahov // Oborudovanie i materialy. – 2013. – №3. – S. 48 – 53.
4. Knysh B. P. Vyznachennya kilkisnogo vmistu komponentiv skraplenogo naftovogo gazu [Text] / B. P. Knysh, Y. Y. Bilinskiy, M. V. Gladyshevsky // Visnyk Vinniczskogo politehnichnogo institutu. – 2014. – №1. – S. 112 – 119.
5. Preobrazhensky N. I. Szhizhenye uglerodnye gazy / N. I. Preobrazhensky. – L.: Nedra, 1975. – 279 s.
6. Ioffe B. V. Refraktometricheskie metody himii / B. V. Ioffe. – L. : Himiya, 1983. – 352 s.

Рецензія/Peer review : 22.4.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Петрук

О.Є. РУБАНЕНКО

Вінницький національний технічний університет

В.А. МАТВІЙЧУК, О.О. РУБАНЕНКО

Вінницький національний аграрний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДІЛЯНКИ ІЗ ЗНИЖЕНИМ ОПОРОМ ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖІ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Досліджено можливість використання нейронечіткого моделювання при визначенні якості функціонування ділянки із зниженим опором ізоляції. Досліджено параметри, які характеризують якість функціонування ділянки мережі оперативного постійного струму: кількість відновлень ізоляції після проходження сигналів; поточний опір ізоляції ділянки; опір ізоляції ділянки після відновлення. Визначення ділянки із зниженим опором ізоляції мережі оперативного постійного струму пропонується здійснювати шляхом розрахунку коефіцієнта якості її функціонування. Коефіцієнт якості функціонування ділянки мережі оперативного постійного струму є комплексним параметром, який враховує не лише можливість ділянки виконувати свої функції, а й можливість ефективно відновлювати ізоляцію після проходження тестових чи інших, впливаючих на її стан, сигналів. Вдосконалено метод визначення ділянки із зниженим опором ізоляції мережі оперативного постійного струму, який дозволяє попередити розвиток аварійних ситуацій і дає змогу провести завчасну заміну, ремонт, наладку ділянок мережі оперативного постійного струму.

Ключові слова: коефіцієнт якості функціонування, ділянка із зниженим опором ізоляції мережі оперативного постійного струму, нейронечітке моделювання.

O.E. RUBANENKO

Vinnytsia national technical university

V.A. MATVICHUK, O.O. RUBANENKO

Vinnytsia national agrarian university

DETERMINATION OF FUNCTIONING QUALITY OF AREA IS WITH MIONECTIC RESISTANCE ISOLATION OF OPERATIVE DIRECT-CURRENT NETWORK BY NEURO-FUZZY MODELLING

Investigational possibility of the use of neuro-fuzzy modelling is at determination of functioning quality of area with mionectic resistance of isolation. Investigational parameters which characterize quality functioning of area of operative direct-current network: an amount of proceedings in an isolation is after passing of signals; current isolation resistance of area; resistance of area isolation is after renewal. Determination of area with mionectic isolation resistance of operative direct-current network it is suggested to carry out by a calculation the coefficient of quality of its functioning. A coefficient of functioning quality of operative direct-current network area is a complex parameter, which takes into account not only possibility of area to execute the functions but also possibility effectively to proceed in an isolation after passing of test or other influencing on its state signals. The method of determination of area is improved with mionectic isolation resistance of operative direct-current network, which allows to warn development of emergency situations and enables to conduct the done early replacement, repair, adjusting of areas of operative direct-current network. The method of determining the coefficient functioning as the operative parts of current permanent ones so using methods based on fuzzy modeling and driven to software implementation in a complex MATLAB. The advantage of this method is to attract an evaluation experience for field personnel, taking into account in calculating the quantity, quality, regulatory parameters, etc., and enable the optimization mathematical model on real data.

Keywords: operative direct-current network, mionectic resistance of isolation, coefficient of functioning quality, neural-fuzzy modelling.

Мережі оперативного постійного струму (МОПС) електричних підстанцій призначені для живлення пристроїв релейного захисту і автоматики, систем сигналізації, відповідальних механізмів власних потреб, аварійного освітлення, котушок увімкнення та вимкнення високовольтних вимикачів і т.п. [1-3]. Дослідження, викладене в статті, може знайти застосування в створенні та управлінні мережами електроживлення постійним оперативним струмом споживачів, а також підприємств (електричних станцій і підстанцій), які використовують двохпровідні мережі оперативного постійного струму [3].

Існує багато способів і засобів контролю ізоляції МОПС [1-3], однак специфіка об'єкта контролю вимагає збільшення точності правильного визначення появи небезпечного зниження опору ізоляції на ранній стадії та забезпечення селективного виявлення пошкодженої кабельної лінії.

Одним із перспективних напрямків підвищення надійності МОПС є прогнозування їх стану, а саме прогнозування невідновлювального зниження опору ізоляції. Для вирішення такого класу задач прогнозування добре себе зарекомендували методи нейро-нечіткого моделювання [4, 5]. Тому метою даної статті є вдосконалення методу визначення ділянки із зниженим опором ізоляції мережі оперативного постійного струму шляхом розрахунку коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС з використанням засобів нейро-нечіткого моделювання.

Матеріал і результати дослідження.

Визначення ділянки із зниженим опором ізоляції МОПС пропонується здійснювати шляхом розрахунку коефіцієнта якості її функціонування. Коефіцієнт якості функціонування ділянки МОПС є комплексним параметром, який враховує не лише можливість ділянки МОПС виконувати свої функції, а й можливість ефективно відновлювати ізоляцію після проходження тестових чи інших, впливаючих на її стан,

сигналів. Розглянемо задачу знаходження коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС залежно від кількості знижень значення опору ізоляції, самого значення опору ізоляції ділянки МОПС та часу відновлення ізоляції ділянки МОПС після збурення (проходження сигналу):

$$k_{\text{як.функ.}} = a_{\Sigma} \cdot k_n \cdot k_z \cdot k_{\text{відн.}}, \quad (1)$$

де коефіцієнт кількості відновлень ізоляції після проходження сигналів визначається за виразом:

$$k_n = \frac{n_{\text{відн.}}}{n_{\text{сум.}}}, \quad (2)$$

$n_{\text{сум.}}$ – сумарна кількість сигналів, які пройшли через досліджувану ділянку МОПС;

$n_{\text{відн.}}$ – сумарна кількість сигналів, після проходження яких ділянка МОПС відновилась за короткий час;

коефіцієнт опору ізоляції ділянки МОПС визначається за виразом:

$$k_z = \left| \frac{Z_{\text{гран}} - Z_{\text{ном}}}{Z_{\text{гран}} - Z_{\text{поч}}} \right|, \quad (3)$$

$Z_{\text{гран}}$ – граничне нормативне значення опору ділянки МОПС;

$Z_{\text{ном}}$ – значення опору ділянки МОПС на момент контролю;

$Z_{\text{поч}}$ – початкове значення опору ділянки МОПС (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту);

коефіцієнт відновлення опору ізоляції ділянки МОПС визначається за виразом:

$$k_{\text{відн}} = \frac{Z_{\text{відн}}}{Z_{\text{поч}}}, \quad (4)$$

$Z_{\text{відн}}$ – значення опору ділянки МОПС після відновлення;

$$a_{\Sigma} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \quad (5)$$

a_1 , a_2 , a_3 – вагові коефіцієнти, які задаються експертами з власного досвіду, що характеризують вплив того чи іншого фактора в залежності від особливостей ділянки МОПС і враховують особливості умов експлуатації, а саме a_1 – коефіцієнт, який, враховує вплив кількості відновлень після проходження сигналів; a_2 – коефіцієнт, який, враховує вплив опору ізоляції ділянки МОПС; a_3 – коефіцієнт, який, враховує вплив відновлення опору ізоляції ділянки МОПС.

Для прогнозування можливості подальшого розвитку виявлених дефектів та можливості експлуатації ділянки МОПС необхідно оцінити динаміку й швидкість зміни опору ізоляції. З метою підвищення адекватності проведення подібного оцінювання виникає потреба у врахуванні експертних знань у предметній області. Прикладом подібних експертних суджень, які можуть стати підґрунтям формування бази знань, є такі: «ЯКЩО опір ізоляції ділянки МОПС зменшується, ТО зменшується і її надійність та виникає можливість виникнення хибних дій» або «ЯКЩО швидкість зменшення опору ізоляції ділянки МОПС не перевищує 10% за одне проходження тестового сигналу, ТО небезпечний дефект не розвивається, але потребує уваги».

Спеціалізована діагностика й ревізія здійснюються персоналом спеціалізованих ремонтних підрозділів або організацій. Цей етап має велике значення для оцінки вірогідності результатів попередніх досліджень, їхнього вдосконалювання й поповнення бази даних і бази знань. У той же час ефективність цих заходів залежить від раніше отриманих результатів. За результатами діагностування приймається рішення про можливість та доцільність подальшої експлуатації ділянки МОПС.

Системи контролю опору ізоляції ділянок МОПС, що існують на даний час, використовують у своїх розрахунках відомі математичні моделі, однак ці моделі мають досить суттєвий недолік – вони не можуть визначати і враховувати функціональні зв'язки між багатьма з їх контрольованих діагностичних параметрів одночасно, в одній математичній моделі (які, до того ж, часто є різноспрямованими). Задача ускладнюється в умовах неповноти початкових даних, коли частина параметрів невідома на момент розрахунків, наприклад, з причин необхідності проведення додаткових досліджень. Зазначимо, що кількісні методи нездатні забезпечити можливість оперування подібною інформацією. Якщо ж ми перейдемо у площину суто якісних підходів, то втрачимо здатність до оптимізації параметрів моделі на реальних статистичних даних. Ефективним інструментарієм для встановлення зазначених функціональних зв'язків, врахування різної за природою інформації та експертних знань у предметній області, є технологія нейро-нечіткого моделювання.

Зауважимо, що експертні знання можуть формуватись у результаті аналізу контрольованих діагностичних параметрів спеціалістами, які безпосередньо діагностують стан ізоляції ділянок МОПС, задаватись відповідно до літературних джерел чи за даними служби ізоляції і т.ін., що дає можливість

встановлення причин виведення із експлуатації тієї чи іншої ділянки МОПС. Під контрольованим діагностичним параметром розуміємо параметр, відхилення якого від норми сприяло виведенню ділянки МОПС в ремонт. Проаналізувавши літературні джерела [1-3] нами була створена схема (див. рис. 1), яка визначає залежний, або незалежний вплив діагностичних параметрів на коефіцієнт якості функціонування ділянки МОПС.

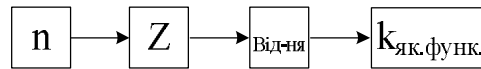


Рис. 1. Структурна схема моделі розрахунку коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС

Підсумовуючи викладене вище, зробимо висновок, що:

1. Інформаційна підтримка діагностування ізоляції ділянки МОПС скорочує час, що витрачається на дослідження технічного стану, ревізію й ремонт ділянки МОПС в цілому, а також на виявлення та локалізацію можливих несправностей і дефектів, що розвиваються в ділянці МОПС.

2. Інформаційні системи підтримки прийняття рішень сприяють зменшенню обсягу робіт по діагностиці ізоляції МОПС, пов'язаних з відключенням МОПС, підвищенню надійності й економічності електропостачання. Із застосуванням таких систем вдається поряд із спрощенням оцінки впливу дефектів упорядкувати рішення проблем, що виникають у життєвому циклі МОПС, які ще не перейшли у категорію непрацездатних.

3. Для підвищення ефективності інформаційної підтримки потрібно застосовувати нові методи подання й обробки необхідної різномірної інформації (кількісних показників, експертних оцінок, нормативних значень тощо).

4. Використання математичного апарату нейро-нечіткого моделювання дозволяє ідентично представляти й обробляти різні види кількісної та якісної, неповної, невизначеної, суперечливої та іншої інформації, забезпечуючи можливість налаштування параметрів математичних моделей на реальних даних.

Перевагами нейро-нечіткого моделювання є оперування нечіткими вхідними даними, зв'язки між якими заздалегідь невідомі, не завжди відома їх точність і правдивість. Основи теорії нечітких множин були закладені професором Каліфорнійського університету Лотфі Заде півстоліття тому в основоположній статті «Fuzzy Sets» [4]. Концепція нечіткої множини була сформована Заде як відповідь на «незадоволеність математичними методами класичної теорії систем, яка спонукала домагатися штучної точності, невластивої багатьом системам реального світу» [5]. Нечітка логіка надала зручний інструментарій для представлення експертних знань щодо розвитку досліджуваних систем і процесів у математичній формі. Залучення ж до нечітких моделей технології нейронних мереж забезпечує можливість автоматичного налагодження їх параметрів з урахуванням кількісних та якісних факторів та надає низку інших незаперечних переваг для моделювання. Дійсно, включення до моделі поряд із кількісними ще й експертних оцінок низки інформативних якісних чинників та організація механізму логічного висновку дозволяє розраховувати на суттєве підвищення точності прогнозу [6]. Для створення математичної моделі розрахунку коефіцієнту функціонування ділянки МОПС було використано параметри: 1 - кількість відновлень ізоляції після проходження сигналів; 2 - поточний опір ізоляції ділянки МОПС; 3 - опір ізоляції ділянки МОПС після відновлення, по кожному з яких можна робити висновок про стан ділянки МОПС. Але жоден з даних параметрів не в повній мірі характеризує стан ділянки МОПС – він лише вказує на певні зміни її технічного стану. Якщо один з цих технічних параметрів виходить за нормовані межі, це зовсім не означає що МОПС повністю втратила свою роботоздатність.

Тому, задача полягає у знаходженні не завжди відомих, нечітких взаємовпливів різних технічних параметрів на поточний загальний технічний стан ділянки МОПС та з огляду на прогноз динаміки розвитку пошкоджень, а також їх впливу на загальний технічний стан МОПС.

Застосування для вирішення поставленої задачі методів теорії нечіткої логіки дає нам змогу врахувати значення різних контрольованих параметрів при діагностуванні стану ділянки МОПС і створити базу правил їх взаємодії, не знаючи математичного зв'язку між ними. Для знаходження розв'язку задачі визначення коефіцієнта якості функціонування було вирішено застосовувати програмний комплекс MATLAB, оскільки він дозволяє розв'язувати оптимізаційні задачі при вихідних даних, які представлені у вигляді нечітких множин, і враховувати експертну інформацію.

Система комп'ютерної математики MATLAB надала можливість на базі сформованої вибірки навчальних даних отримати аналітичну залежність коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС від діагностичних параметрів у вигляді поліному. Такий вихід моделі на нечіткій логіці вдається реалізувати, скориставшись методом конструювання нечітких баз знань Тагакі-Сугено [7], причому умовна частина правил в моделі реалізується із застосуванням нечітких множин. Подібна залежність може бути використана у програмному забезпеченні сучасних мікропроцесорних пристроїв діагностування стану ділянки МОПС.

Формування початкових навчальних даних було здійснено наступним чином. Для трьох вхідних параметрів моделі, які змінювались випадковим чином від 0 до 1, був визначений коефіцієнт якості функціонування ділянки МОПС. Для зручності застосування даних і спрощення поточних розрахунків у системі комп'ютерної математики MATLAB. Повна таблиця містить перебір розглянутих варіантів

сполучень діагностичних параметрів та відповідних ним значень коефіцієнту якості функціонування ділянки МОПС, як показано в таблиці 1. Три вхідних параметри моделі – коефіцієнти, які відповідають трьом контрольованим діагностичним параметрам. Для збільшення точності визначення коефіцієнта якості функціонування можна збільшувати кількість діагностичних параметрів

Таблиця 1

Результати розрахунків коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС

Діагностичні параметри			Коефіцієнт якості функціонування ділянки МОПС
$K_n, в.о.$	$K_z, в.о.$	$K_{відн}, в.о.$	
0	0	0	0
1	1	1	1
0	1	1	0
1	0	1	0
...	...	...	...
0,93	0,93	0,93	0,930063
1	1	0,97	0,653953
1	1	0,96	0,644808
1	1	0,87	0,264758
1	1	0,78	0,248279
...	...	...	...
1	1	0,67	0,924798
1	1	0,65	0,927788
1	1	0,56	0,93044
...	...	...	...
0,94	0,94	0,94	0,940054
0,6	0,5	0,8	0,614157
0,2	0,5	0,3	0,446311
0,5	0,3	0,4	0,492952

Математична модель коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС є системою логічних рівнянь в загальному вигляді:

$$\begin{cases}
 \text{ЯКЩО } k_n \in \text{"нормальне"} \text{ ТА } k_z \in \text{"нормальне"} \text{ ТА } k_{відн} \in \text{"нормальне"} \text{ ТО} \\
 k_{\text{як.функ.}} = a_{11} \cdot k_n + a_{12} \cdot k_z + a_{13} \cdot k_{відн} \\
 \text{ЯКЩО } k_n \in \text{"незначне відхилення"} \text{ ТА } k_z \in \text{"незначне відхилення"} \text{ ТА } k_{відн} \in \text{"незначне відхилення"} \text{ ТО} \\
 k_{\text{заг.зап.рес}} = a_{21} \cdot k_n + a_{22} \cdot k_z + a_{23} \cdot k_{відн} \\
 \text{ЯКЩО } k_n \in \text{"передаварійне"} \text{ ТА } k_z \in \text{"передаварійне"} \text{ ТА } k_{відн} \in \text{"передаварійне"} \text{ ТО} \\
 k_{\text{заг.зап.рес}} = a_{31} \cdot k_n + a_{32} \cdot k_z + a_{33} \cdot k_{відн} \\
 \text{ЯКЩО } k_n \in \text{"аварійне"} \text{ ТА } k_z \in \text{"аварійне"} \text{ ТА } k_{відн} \in \text{"аварійне"} \text{ ТО} \\
 k_{\text{заг.зап.рес}} = a_{41} \cdot k_n + a_{42} \cdot k_z + a_{43} \cdot k_{відн}
 \end{cases}$$

Математична модель коефіцієнта якості функціонування для конкретної ділянки МОПС є системою логічних рівнянь:

$$\begin{cases}
 \text{ЯКЩО } k_n \text{ "нормальне"} \text{ ТА } k_z \text{ "нормальне"} \text{ ТА } k_{відн.} \text{ "нормальне"} \\
 \text{ТО } k_{\text{як.функ.}} = 0,3234k_n + 0,233k_z + 0,03k_{відн.} + 0,098 \\
 \text{ЯКЩО } k_n \text{ "незначне відхилення"} \text{ ТА } k_z \text{ "незначне відхилення"} \text{ ТА } k_{відн.} \text{ "незначне відхилення"} \\
 \text{ТО } k_{\text{як.функ.}} = 0,456k_n + 0,345k_z + 0,133k_{відн.} + 0,094 \\
 \text{ЯКЩО } k_n \text{ "передаварійне"} \text{ ТА } k_z \text{ "передаварійне"} \text{ ТА } k_{відн.} \text{ "передаварійне"} \\
 \text{ТО } k_{\text{як.функ.}} = 0,3245k_n + 0,238k_z + 0,235k_{відн.} + 0,097 \\
 \text{ЯКЩО } k_n \text{ "аварійне"} \text{ ТА } k_z \text{ "аварійне"} \text{ ТА } k_{відн.} \text{ "аварійне"} \\
 \text{ТО } k_{\text{як.функ.}} = 0,234k_n + 0,153k_z + 0,343k_{відн.} + 0,093
 \end{cases}$$

Далі у рядках цієї таблиці були скореговані значення коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС шляхом опитування незалежних експертів: кваліфікованих представників служби обслуговування МОПС (дані наведені в таблиці 2). Корегування коефіцієнтів якості функціонування для врахування особливостей експлуатації конкретної ділянки МОПС.

Фрагмент скорегованих значень коефіцієнта якості функціонування

Діагностичні параметри			Коефіцієнт якості функціонування
$K_n, в.о.$	$K_z, в.о.$	$K_{відн}, в.о.$	
0	0	0	0
1	1	1	1
0	1	1	0
1	0	1	0
...	...	...	...
0,93	0,93	0,93	0,960
1	1	0,97	0,750
1	1	0,96	0,650
1	1	0,87	0,660
1	1	0,78	0,560
...	...	...	...
1	1	0,67	0,909
1	1	0,65	0,850
1	1	0,56	0,820
...	...	...	...
0,94	0,94	0,94	0,940
0,6	0,5	0,8	0,500
0,2	0,5	0,3	0,440
0,5	0,3	0,4	0,445

Відкориговані дані були використані в якості навчальних даних при моделюванні в системі комп'ютерної математики MATLAB. Для цього використовувався пакет Fuzzy Logic Toolbox. За допомогою ANFIS редактора з використанням гібридного навчального алгоритму та алгоритму нечіткого висновку Сугено [7] була отримана нейро-нечітка модель коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС (з використанням методу субкластеризації). Структура отриманої нейро-нечіткої мережі показана на рисунку 2.

Для кожної входної змінної нейро-нечіткої моделі використовувались по чотири лінгвістичні терми з Гаусовими функціями належності, що представлені виразом (6) [3]:

$$k_{pec.i1} = f(x_{i1}; s_{i1}; c_{i1}) = e^{\frac{-(x_{i1}-c_{i1})^2}{2s_{i1}^2}}, \quad (6)$$

де s_{i1} та c_{i1} – числові параметри, s_{i1}^2 – в теорії ймовірності називається дисперсією розподілу, а другий параметр c_{i1} – математичним очікуванням, $i1$ – входний фактор нейро-нечіткої моделі, який відповідає діагностичному параметру, x_{i1} – значення $i1$ -го входного фактора моделі: $x_1=k_n$, $x_2=k_z$, $x_3=k_{відн}$.

Для опису стану МОПС, використовуються такі терми, як: «нормальні» значення параметра, «незначні відхилення» значення параметра, «передаварійні» значення параметра, «аварійні» значення параметра.

Для полегшення налаштування та адаптації структури розробленої моделі до реальних параметрів конкретної ділянки МОПС модель реалізується у вигляді адаптивної нейронечіткої багатошарової мережі прямого розповсюдження ANFIS. ANFIS являє собою найпростішу мережу прямого розповсюдження яка містить адаптивні вузли (рис. 2). Призначення шарів цієї мережі.

Шар 1 визначає нечіткі терми діагностичних параметрів. Кожний вузол цього шару є адаптивним з функцією належності $m_{Ai}(x_i)$ де x_i – вхід вузла i . A_i – лінгвістична нечітка змінна, яка асоціюється з цим вузлом. Так: $m_{\text{«нормальне»}}(k_n)$ – величина функції належності для терму «нормальне» значення параметра кількості відновлень ізоляції після проходження сигналів; $m_{\text{«нормальне»}Z}(k_z)$ – величина функції належності для терму «нормальне» значення параметра опору ізоляції ділянки МОПС, $m_{\text{«нормальне»}відн}(k_{відн})$ – величина функції належності для терму «нормальне» значення параметра відновлення опору ізоляції ділянки МОПС, $m_{\text{«незначне відхилення»}n}(k_n)$ – величина функції належності для терму «незначне відхилення» значення параметра кількості відновлень ізоляції після проходження сигналів; $m_{\text{«незначне відхилення»}Z}(k_z)$ – величина функції належності для терму «незначне відхилення» значення параметра опору ізоляції ділянки МОПС, $m_{\text{«незначне відхилення»}відн}(k_{відн})$ – величина функції належності для терму «незначне відхилення» значення параметра відновлення опору ізоляції ділянки МОПС, $m_{\text{«передаварійне»}n}(k_n)$ – величина функції належності для терму «передаварійне» значення параметра кількості відновлень ізоляції після проходження сигналів; $m_{\text{«передаварійне»}Z}(k_z)$ – величина функції належності для терму «передаварійне» значення параметра опору ізоляції ділянки МОПС, $m_{\text{«передаварійне»}відн}(k_{відн})$ – величина функції належності для терму «передаварійне» значення параметра відновлення опору ізоляції ділянки МОПС, $m_{\text{«аварійне»}n}(k_n)$ – величина функції належності для терму «аварійне» значення параметра кількості відновлень ізоляції після проходження сигналів; $m_{\text{«аварійне»}Z}(k_z)$ – величина функції належності для терму «аварійне» значення параметра опору ізоляції ділянки МОПС, $m_{\text{«аварійне»}відн}(k_{відн})$ – величина функції належності для терму «аварійне» значення параметра відновлення опору ізоляції ділянки МОПС.

«аварійне» значення параметра кількості відновлень ізоляції після проходження сигналів; $m_{\text{«аварійне»}Z}(k_Z)$ – величина функції належності для терму «аварійне» значення параметра опору ізоляції ділянки МОПС, $m_{\text{«аварійне»}відн}(k_{відн})$ – величина функції належності для терму «аварійне» значення параметра відновлення опору ізоляції ділянки МОПС.

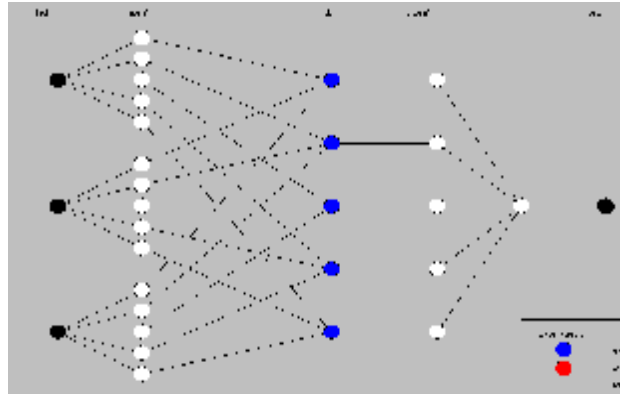


Рис. 2. Структура ANFIS-мережі коефіцієнта якості функціонування

Для знаходження значення коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС використовуємо нелінійну авторегресійну модель коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС.

Для визначення значення коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС використовуємо модель логічного висновку Такагі-Сугено. В цій моделі нечіткі правила визначаються на основі заданої кількості значень «вхід-вихід» модельованого об'єкта у вигляді:

$$\text{ЯКЩО } x_1 \in A_1 \text{ ТА } x_2 \in B_2 \text{ ТА } \dots x_m \in V_i \text{ ТО } y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (7)$$

де A_1, B_2, V_m – нечіткі множини посилянь, а $y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – чітка функція висновку, $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – визначається у вигляді поліному вхідних змінних $x_1, x_2, \dots, x_m$.

Математична модель коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС є системою логічних рівнянь (8)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ЯКЩО } k_n \in \text{«нормальне» ТА } k_Z \in \text{«нормальне» ТА } k_{відн} \in \text{«нормальне» ТО} \\ k_{\text{як.функц.}} = a_{11} \cdot k_n + a_{12} \cdot k_Z + a_{13} \cdot k_{відн} \\ \text{ЯКЩО } k_n \in \text{«незначне відхилення» ТА } k_Z \in \text{«незначне відхилення» ТА } k_{відн} \in \text{«незначне відхилення» ТО} \\ k_{\text{заг.зал.рес}} = a_{21} \cdot k_n + a_{22} \cdot k_Z + a_{23} \cdot k_{відн} \\ \text{ЯКЩО } k_n \in \text{«передаварійне» ТА } k_Z \in \text{«передаварійне» ТА } k_{відн} \in \text{«передаварійне» ТО} \\ k_{\text{заг.зал.рес}} = a_{31} \cdot k_n + a_{32} \cdot k_Z + a_{33} \cdot k_{відн} \\ \text{ЯКЩО } k_n \in \text{«аварійне» ТА } k_Z \in \text{«аварійне» ТА } k_{відн} \in \text{«аварійне» ТО} \\ k_{\text{заг.зал.рес}} = a_{41} \cdot k_n + a_{42} \cdot k_Z + a_{43} \cdot k_{відн} \end{array} \right. \quad (8)$$

Вихід моделі $k_{\text{як.функц.}}$ знаходиться як зрівноважена сума висновків (7) бази правил, записаних у вигляді системи логічних рівнянь (8) [8].

$$k_{\text{як.функц.}} = \sum_{j2=1}^{m3} w_{j2} (a_{j21} \cdot k_n + a_{j22} \cdot k_Z + a_{j23} \cdot k_{відн}), \quad (9)$$

де $0 \leq w_{j2} \leq 1$ – степінь виконання (вага) j_2 -го правила, яка визначається відповідністю реальних змін діагностичних параметрів ділянки МОПС, j_2 – номер правила, m_3 – кількість правил що відображені у j_2 -му правилі (10):

$$w_n = \frac{W_n}{X}, \quad (10)$$

$$\xi = \sum_{j1=1}^{m3} [m_j(k_n) \cdot m_j(k_Z) \cdot m_j(k_{відн})]$$

$$W_n = m_{j''}(k_n) \cdot m_{j''}(k_Z) \cdot m_{j''}(k_{відн})$$

$m_j(k_n), m_j(k_Z), m_j(k_{відн})$ – функції належності значень коефіцієнтів залишкового ресурсу контрольованих діагностичних параметрів до відповідної нечіткої множини значень цих параметрів відповідного правила, $m_1(k_n) = m_{\text{«нормальне»}}(k_n)$, $m_1(k_Z) = m_{\text{«нормальне»}}(k_Z)$, $m_1(k_{відн}) = m_{\text{«нормальне»}}(k_{відн})$. Налаштування моделі полягає у визначенні параметрів Гаусових функцій належності

(середньоквадратичне відхилення S_{k_n} , S_{k_z} , $S_{k_{відн}}$ та математичне очікування c_{k_n} , c_{k_z} , $c_{k_{відн}}$), і параметрів рівнянь висновку. Використовуючи правила навчання параметри вузлів адаптивної нейро-нечіткої багатоваріантної мережі прямого розповсюдження ANFIS налаштовуються так, щоб мінімізувати похибку між розрахованим виходом моделі $k_{\text{як.функ.мод.}}$ та реальним коефіцієнтом загальнозалишкового ресурсу $k_{\text{як.функ.}}$ (11):

$$d = \sqrt{\frac{1}{N_1} \sum_{k_3=0}^{N_1-1} (k_{\text{як.функ.мод.}k_3} - k_{\text{як.функ.}k_3})^2} \rightarrow \min, \quad (11)$$

де N_1 – кількість рядків у навчальній вибірці, k_3 – номер рядка в навчальній вибірці починаючи з рядка з порядковим номером «0».

Використовується гібридний навчальний алгоритм, кожна епоха якого складається з прямого та зворотного оптимізаційних розрахунків. При прямому розрахунку початкова інформація про значення вектора входу k_n , k_z , $k_{відн}$ та виходу $k_{\text{заг.зал.рес}}$ використовується для визначення параметрів висновку методом найменших квадратів. Далі розраховується похибка ANFIS-мережі.

Використовуючи варіантний метод за критерієм мінімізації середньоквадратичної похибки навчання нейро-нечіткої мережі для термів вибрані гаусові функції належності. На основі побудованої нейро-нечіткої мережі проведено експериментальне дослідження адекватності моделювання коефіцієнта якості функціонування для 8 різних ділянок мереж МОПС. За допомогою нейро-нечіткої мережі були сформульовані правила, які дали змогу визначити коефіцієнт якості функціонування по кожній ділянці МОПС. Результати розрахунків наведені в таблиці 3. З наведених у таблиці даних можна зробити висновок, що 1 та 3 ділянка потребують заміни або додаткового діагностування. Ділянки МОПС 2-5, 7 та 8 мають середні значення коефіцієнта якості функціонування, що свідчить про виникнення незначних дефектів, які при правильному обслуговуванні можуть бути усунені на ранніх стадіях розвитку і не переростуть у більш важкі пошкодження, які, як правило, призводять до виникнення аварійних ситуацій, помилкового відключення обладнання тощо.

Таблиця 3

Результати моделювання коефіцієнта якості функціонування для 8 різних ділянок мереж МОПС

Порядковий номер ділянки МОПС	k_z	k_n	$k_{відн}$	$k_{\text{як.функ.}}$
1	0,13	0,25	0,23	0,23
2	0,95	0,34	0,28	0,65
3	0,56	0,32	0,68	0,35
4	0,47	0,36	0,78	0,67
5	0,45	0,38	0,88	0,75
6	0,91	0,76	0,91	0,81
7	0,87	0,75	0,75	0,79
8	0,67	0,65	0,74	0,67

Ділянка МОПС під номером 6 має найвищий коефіцієнт якості функціонування, тому вона може експлуатуватись довше і не потребує додаткових затрат на діагностування.

Висновки

У даній статті запропонований метод визначення ділянки із зниженим опором ізоляції мережі оперативного постійного струму, який дозволяє попередити розвиток аварійних ситуацій і дає змогу провести завчасну заміну, ремонт, наладку ділянок МОПС.

Розроблений метод визначення коефіцієнта якості функціонування ділянки МОПС базується на використанні методів нейро-нечіткого моделювання та доведений до програмної реалізації в комплексі MATLAB. Перевагою такого методу є можливість залучення для проведення оцінювання досвіду експлуатаційного персоналу, врахування у розрахунках кількісних, якісних, нормативних показників тощо, та забезпечення можливості оптимізації математичної моделі на реальних даних.

Література

1. Рубаненко О. Є. Статистичні дослідження закономірностей зміни опорів ізоляції мереж оперативного постійного струму / О. Є. Рубаненко, І. А. Жук, О.О. Рубаненко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – №3 (213). – С.110-114.
2. Жук І.О. Визначенні пошкодженої лінії мереж оперативного постійного струму / І.О. Жук, О. Є. Рубаненко, С.Є. Танкевич // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2013. – №3 (36). – С.5-13.
3. А.с. 1316065 (СССР). Устройство для сигнализации замыканий на землю в двухпроводных сетях постоянного тока/ В.М. Кутин. А.Е. Рубаненко, В.Н. Вишневы, А.В. Кобылянский // Бюл. изобретений. –

1987. – №21. – С.257.

4. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка : монографія / А. В. Матвійчук. – К.: КНЕУ, 2011. – 439 с.

5. Матвійчук А. В. Аналіз та прогнозування розвитку фінансово-економічних систем із використанням теорії нечіткої логіки: монографія / А. В. Матвійчук. – К.: Центр навч. літератури, 2005. – 208 с.

6. Применение нечёткой нелинейной авторегрессионной модели с внешним входом для оценки состояния электрооборудования / О. Н. Агамалов, Н. В. Костерев, Н. П. Лукаш и [др.] // Технічна електродинаміка. – 2004. – № 2. – С. 49–58.

7. Zadeh L. Fuzzy Sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – № 3. – P. 338–353.

8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде; пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 167 с.

9. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1985. – Vol. 15. – P. 116–132.

10. Костерев Н.В. Нечёткие алгоритмы оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования / Н.В. Костерев, Е.И. Бардик., Р.В. Вожаков, Т.Ю. Курач // Наукові праці ДонНТУ. Електротехніка і енергетика. – 2008. – №8. – С. 65–70.

References

1. Rubanenko O. E. Statystychni doslidzhennya zakonmironostey zminy oporu izolyatsiyi merezh operatyvnoho postynoho strumu / O. E. Rubanenko, I. A. Zhuk, O.O. Rubanenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2001. – № 3 (213). – P. 110-114.

2. Zhuk I.O. Vyznachenni poshkodzhenoї liniyi merezh operatyvnoho pstynoho strumu / O. E. Rubanenko, S.E. Tankevych // Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny. – 2013. – № 3 (36). – P.5-13.

3. A.s. 1316065 (SSSR). Ustroystvo dlya syhnalyzatsyy zamykanny na zemlyu v dvukhpроводnykh setyakh postoyannoho toka/ V.M. Kutyn. A.E. Rubanenko, V.N. Vyshnevskyy, A.V. Kobylansky // Byul. yzobr. – 1987. – №21. – P.257.

4. Matviychuk A. V. Shtuchnyy intelekt v ekonomitsi: neyronni merezhi, nechitka lohika : monohrafiya / A. V. Matviychuk. – K.: KNEU, 2011. – 439 p.

5. Matviychuk A. V. Analiz ta prohnozuvannya rozvytku finansovo-ekonomichnykh system iz vykorystannyam teoriiy nechitkoyi lohiky: monohrafiya / A. V. Matviychuk. – K.: Tsentr navch. lit., 2005. – 208 p.

6. Prymenenye nechëtkoï nelyneynoï avtorehryssonnoï modely s vneshnym vkhodom dlya otsenky sostoyannya elektrooborudovanyya / O. N. Ahamalov, N. V. Kosterev, N. P. Lukash y dr.] // Tekhnichna elektrodynamika. – 2004. – № 2. – P. 49–58.

7. Zadeh L. Fuzzy Sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – № 3. – P. 338–353.

8. Zade L. Ponyatyie linyhvystycheskoy peremennoy v pryomenenye k prynyatyuy pryblzhennikh reshenyy: Per. s anhl. – M.: Myr, 1976. – 167 p.

9. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1985. – Vol. 15. – P. 116–132.

10. Kosterev N.V. Nechëtkiye alhorytmy otsenky tekhnicheskoho sostoyannya y prohnozyrovanyya ostatochnoho resursa elektrooborudovanyya / Kosterev N.V., Bardyk E.Y., Vozhakov R.V., Kurach T.E.// Naukovi pratsi DonNTU – Elektrotehnika i enerhetyka. – 2008. – №8. – P. 65–70.

Рецензія/Peer review : 27.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

Метою статті є дослідження показників, які можуть бути використані при визначенні параметра потоку відмов елегазового вимикача. Для цього в статті проаналізовано результати експлуатації елегазових вимикачів та виявлено причини їх пошкоджень. Запропоновані такі показники надійності, як параметр потоку відмов елегазового вимикача: з причини відмови приводного механізму; відмови дугогасильної камери, відмови релейного захисту та автоматики; пошкоджень роз'єднувачів та ошикування в комірці. Також розглянуто комбінований метод визначення технічного стану елегазового вимикача, в якому ускладнено приєднання сенсорів кутового та лінійного переміщення для контролю швидкісних характеристик і який реалізується шляхом подання в коло з контактами вимикача струму тестового сигналу частота якого змінюється від нуля герц до мегагерц. Обґрунтовано доцільність використання комбінованого методу діагностування для вимикачів у яких складно контролювати швидкісні характеристики під час експлуатації та розраховано параметр потоку відмов елегазових вимикачів.

Очікується, що запропонований комбінований метод діагностування елегазових високовольтних вимикачів дозволить зменшити кількість відмов, підвищити показник їх надійності та виявляти пошкодження на ранній стадії розвитку.

O. E. RUBANENKO, U. G. VEDMITSKYI, S. V. MYSENKO

Vinnytsia National Technical University

THE STUDY OF INDICATORS OF RELIABILITY OF GAS-INSULATED CIRCUIT BREAKERS

The aim of the article is the study of indicators that can be used to determine the parameter of the flow of failures of gas-insulated switch. To do this, the article analyzes the results of operation of gas-insulated circuit breakers and the causes of their injuries. Such reliability indices as a parameter of the flow of failures of gas-insulated switch: failure of the drive mechanism; to the camera for extinguishing the arc, failure of relay protection and automatics; damage disconnectors and busbars in the busbar compartment in the busbar compartment circuit breaker. Also considered the combined method of determining the technical condition of gas-insulated circuit breaker in which the difficult connection of the sensors of angular and linear motion to control speed characteristic which is implemented by feeding into the circle with the contacts of the switch current of the test signal, whose frequency changes from zero Hertz to megahertz. It justifies expediency of use of the combined method for diagnosing the circuit in which it is difficult to control the speed characteristics during operation and the calculated flow parameter failures gas-insulated circuit breakers.

It is expected that the proposed combined method of diagnosis of gas-insulated high-voltage circuit breakers by allows to reduce the number of failures, increase its reliability and to detect damage at an early stage of development.

Keywords: gas insulated switch combined method parameter failure intensity, reliability.

Вступ. Одними з найбільш важливих комутаційних апаратів, від надійності функціонування яких в значній мірі залежить надійність роботи електроенергетичної системи є високовольтні вимикачі. Під час виникнення аварійних ситуацій, при пошкодженнях високовольтного обладнання, задачі з їх локалізації в першу чергу виконують вимикачі. В наш час в Україні парк високовольтних вимикачів (ВВ) значно поповнився великою кількістю нових елегазових вимикачів різних конструкцій і виробників. Однак в експлуатації все ще знаходяться повітряні вимикачі, які експлуатуються понад 15 - 20 років; вимикачі, які використали свій паспортний ресурс. На сьогодні перед підприємствами, які експлуатують таке застаріле обладнання стоїть завдання забезпечити надійну експлуатацію. Виконання цього завдання передбачає декілька шляхів, відомий шлях планових та позапланових ремонтів застарілого обладнання. Інший шлях заміна застарілого обладнання новим. Проте задача вибору нового вимикача є досить не простою. Враховуючи те, що досвід експлуатації елегазових вимикачів, в порівнянні з досвідом експлуатації повітряних та масляних набагато менший. А його аналіз свідчить про велику кількість різних типів та виробників елегазових вимикачів, що вимагає від проектних організацій ретельного підбору технічних характеристик вимикача та його виробника під час виконання проектних рішень з реконструкції розподільчих пристроїв. Для цього необхідно керуватися відповідними показниками надійності та економічності, технічними характеристиками. До основних показників надійності відносяться: параметр потоку відмов, наробіток на відмову, час відновлення після відмови та т.ін. [1]. Також експлуатуються елегазові вимикачі, яким понад 15 років.

Дослідження показників надійності елегазових вимикачів. Від надійної роботи високовольтного вимикача, а саме від роботи приводного механізму, дугогасильної камери та вторинних кіл вимикача, залежить подальша робота електроенергетичної системи в цілому. Отже параметр потоку відмов високовольтних вимикачів має певну структуру [2].

Широке впровадження елегазових вимикачів та зростання їх кількості в експлуатуючих організаціях дозволили отримати статистику їх відмов. Так аналіз експлуатації елегазових вимикачів (ЕВ) протягом 2010-2014 років на 9-ти підстанціях Південно-Західної ЕС, 6-ти підстанціях Тернопільобленерго та ГЕС «Канівська», показав, що причинами деяких відмов ЕВ були: зменшення ізоляційної відстані за рахунок зміщення ковзних контактів – 2 випадки; обрив скло-епоксидних тяг в дугогасильній камері – 3 випадки; пошкодження двигуна заведення пружини увімкнення – 2 випадки, пошкодження електромагнітів

увімкнення та вимкнення – 6 випадків; нестабільна робота привода, а саме дисбаланс між пружинами увімкнення та вимкнення, недостатній натяг пружинки в блоці вимкнення для фіксації заціпки вимкнення, що приводило до самовимкнення при виконанні операції увімкнення – 3 випадки, розірвання дугогасильних камер під час виконання неуспішного АПВ – 1 випадок та інші [3].

Проведений аналіз причин відмов ЕВ на підприємствах України дав можливість запропонувати вираз для визначення параметра потоку відмов елегазового вимикача (1)

$$w_{EB} = w_{PP} + w_{ДГК} + w_{P3A} + w_{ини}, \quad (1)$$

де w_{PP} – параметр потоку відмов елегазового вимикача з причини відмови приводного механізму; $w_{ДГК}$ – теж саме з причини відмови дугогасильної камери, w_{P3A} – теж саме з причини відмови релейного захисту та автоматики, $w_{ини}$ – відмови викликані роз'єднувачами та ошикуванням в комірці.

Параметр потоку відмов високовольтних вимикачів використовується при розв'язанні відносно різнопланових задач, таких як: аналіз і вибір структурних схем і схем електричних з'єднань електроустановок, вдосконалення конструктивних особливостей вимикачів, при плануванні стратегії ремонтно-відновлювальних дій та інші.

Деякі з вищеперерахованих пошкоджень ЕВ можна було б попередити, завчасно виявивши дефекти на ранній стадії розвитку. Однак, не завжди на підприємствах експлуатуючих ЕВ є ефективні засоби діагностування вимикачів здатні виявити пошкодження на ранній стадії їх розвитку, які покликані вчасно попередити експлуатуючий персонал про майбутню небезпеку.

Ефективним засобом попередження експлуатуючого персоналу про загрозу пошкодження ЕВ є сучасні високоефективні моніторингові системи, які дозволяють безперервно (в процесі експлуатації) контролювати багато діагностичних параметрів. Однак, у більшості випадків, вони використовуються на нових ЕВ, а вимикачі, що експлуатуються понад 15 років не завжди мають саме такі системи, тому, що, наприклад, їх конструкція не дозволяє приєднувати сенсори лінійного та кутового переміщення для контролю швидкісних характеристик. У таких випадках використовуються методи і засоби періодичного контролю значень діагностичних параметрів. Але, відповідно до вимог виробників та постачальників ЕВ, такий контроль після введення вимикача в експлуатацію або взагалі рекомендується не проводити, або він проводиться не раніше ніж через 12 – 15 років, що значно обмежує інформаційне забезпечення оперативно-диспетчерського та експлуатуючого персоналу про поточний стан ЕВ під час керування нормальними, аварійними та після-аварійними режимами ЕЕС. Хоча кількість відмов елегазових вимикачів набагато менша ніж масляних та повітряних, проте вони все ж таки існують.

Тому, з метою контролю діагностичних параметрів елегазових вимикачів запропоновано комбінований метод діагностування, який реалізується шляхом подання в коло з контактами вимикача струму тестового сигналу частота якого змінюється від нуля герц до мегагерц. Комбінований метод передбачає чотири етапи діагностування. На першому етапі проводиться візуальний огляд. На другому – джерело тестового сигналу подає в коло тестовий сигнал частотою «нуль», для визначення струму витoku через ізоляцію та опору постійному струму головного струмопровідного контуру. На третьому етапі – джерело тестового сигналу подає високочастотний сигнал. Далі здійснюють попереднє сканування напруг завад на виході сенсора за місцем випробувань та виявляють частоти гармонічних складових цих напруг. Виключають їх із спектра частот тестових сигналів, що використовуються під час випробувань. На четвертому етапі джерело тестового сигналу автоматично змінює частоту цього сигналу та подає його на контакти контрольованого вимикача. Автоматично змінювана частота тестового сигналу, під час переміщення контактів вимикача, повинна забезпечити виконання умови резонансу між індуктивністю допоміжного трансформатора джерела тестового сигналу та ємністю між контактами вимикача. Далі визначається швидкісна характеристика в умовах резонансу напруг та зіставлення її з еталонною на обґрунтованих інтервалах часу, що дозволяє одночасно виявити пошкодження в дугогасильній камері та приводному механізмі на ранній стадії їх розвитку, без обмежень викликаних конструктивними особливостями вимикача [4].

Запропонований комбінований метод діагностування, розроблені апаратне та програмне забезпечення цього методу покликані зменшити ризик експлуатуючих організацій в частині невчасного виявлення аварійно-небезпечних відхилень діагностичних параметрів ЕВ від їх нормованих значень та відсутності інформації про пошкодження ЕВ на ранній стадії їх розвитку. В першу чергу це стосується таких дефектів, як: зменшення відстані ізоляційного проміжку між головними контактами в дугогасильній камері ЕВ, за рахунок зміщення ковзних контактів від першочергового фіксованого положення; розрив скло-епоксидної тяги; пошкодження вузлів та деталей приводу вимикача тощо і найбільш виправдано для ЕВ застарілих конструкцій, які не дозволяють контролювати швидкісні характеристики під час експлуатації.

Очікується, що впровадження та ефективне використання запропонованого методу, за умови його реалізації з використанням мікропроцесорних систем, дозволить зменшити кількість відмов ЕВ під час експлуатації.

Для обґрунтування впливу такого впровадження на надійність ЕВ, визначимо параметр потоку відмов ЕВ як середню кількість відмов на вищеперерахованих підприємствах в період від 2010 до 2014 року включно (2) [5]

$$w_1 = \frac{n_1}{m \cdot (t_{2014} - t_{2010})} = \frac{17}{4 \cdot m} = \frac{4,25}{m} \text{ рік}^{-1}, \quad (2)$$

де ω – середній параметр потоку відмов, n_1 – кількість вимикачів, що відмовили за період часу від 2010 до 2014 року включно, m – загальна кількість контрольованих вимикачів.

За умови, що використання розробленого комбінованого методу діагностування ЕВ дозволить уникнути наступних пошкоджень ЕВ (і передбачити безаварійну заміну обладнання):

- викликаних переміщенням ковзних контактів;
- викликаних розривом скло-епоксидної тяги;
- викликаних дисбалансом пружин увімкнення та вимкнення.

Тоді параметр потоку відмов ЕВ (3)

$$w_2 = \frac{n_2}{m \cdot (t_{2014} - t_{2010})} = \frac{14}{4 \cdot m} = \frac{3,5}{m} \text{ рік}^{-1}, \quad (3)$$

де n_2 – кількість пошкоджених вимикачів, дефекти яких неможливо виявити комбінованим методом.

Це дозволить зменшити параметр потоку відмов ЕВ на 17,6 % відповідно до (4):

$$d = \frac{w_1 - w_2}{w_1} = \frac{\frac{4,25}{m} - \frac{3,5}{m}}{\frac{4,25}{m}} \cdot 100\% = 17,6\%. \quad (4)$$

Запропонований метод, шляхом порівняння отриманих характеристик з попередніми, дає можливість накопичувати базу даних та прослідкувати динаміку зміни параметрів вимикача. В разі виявлення стійкого погіршення значень діагностичних параметрів на ранній стадії розвитку дефекту, використання мікропроцесорних систем, які реалізують запропонований метод діагностування, дає можливість завчасного планування та ефективного проведення відновлювальних робіт або заміни. Також запобігти аварійним пошкодженням ЕВ що підвищує надійність не лише ЕВ, а й ЕЕС в цілому.

Висновки

На основі проведеного аналізу причин відмов елегазових вимикачів показано структуру параметра їх потоку відмов.

Очікується, що запропонований комбінований метод діагностування елегазових високовольтних вимикачів застарілих конструкцій, в яких не передбачено контроль швидкісних характеристик під час експлуатації, шляхом виявлення пошкоджень на ранній стадії розвитку дозволить зменшити кількість відмов та підвищити показник надійності таких ЕВ на 17,6 %.

Література

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 34 с.
2. Абдурахманов, А.М. Об особенностях структуры параметра потока отказов выключателей / А. М. Абдурахманов, М. Ш. Мисриханов, Б. Н. Неклепаев, А. В. Шунтов // Электрические сети и системы. – 2005. – Выпуск №5. – С. 54 – 57.
3. Михайлюк Р. І. «Досвід та перспективи експлуатації елегазових вимикачів у Південно-Західній енергетичній системі / Р. І. Михайлюк, С. В. Мисенко, В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко // Енергетика та електрифікація. – 2014. – №3. – С. 34 – 37. – ISSN 0424-9879.
4. Кутін, В.М. Визначення технічного стану елегазових високовольтних вимикачів в умовах експлуатації / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 60 (1102). – С. 57 – 68.
5. Надежность электроснабжения: учеб. пособие /ред.. Ю.А. Секретарев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 104 с. – ISBN 978-5-7782-1517-7.

References

1. HOST 27.002-89. Nadezhnost v tekhnike. Osnovnye ponyatya. Termynu y opredelenyya. M.: Yzd-vo standartov, 1989, 34 s.
2. Abdurakhmanov, A.M. Ob osobennostyakh strukturu parametra potoka otkazov vuklyuchateley [Tekst] / A. M. Abdurakhmanov, M. Sh. Mysrykhanov, B. N. Neklepaev, A. V. Shuntov // Elektricheskiye sety y systemy – 2005. Vipusk #5. – S. 54 – 57.
3. Mykhaylyuk, R. I. Dosvid ta perspektivy ekspluatatsiyi elehazovykh vymyachiv u Pivdenno-Zakhidniy enerhetychniy systemi [Tekst] / R. I. Mykhaylyuk, S. V. Mysenko, V. M. Kutin, O. Ye. Rubanenko // Enerhetyka ta elektryfikatsiya. – 2014. – #3. – S. 34 – 37. – ISSN 0424-9879.
4. Kutin, V.M. Vyznachennya tekhnichnoho stanu elehazovykh vysokovol'tnykh vymyachiv v umovakh ekspluatatsiyi [Tekst] / V. M. Kutin, O. Ye. Rubanenko, S. V. Mysenko // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – # 60 (1102). – S. 57 – 68.
5. Nadezhnost elektrosnabzheniya: ucheb. Posobyie / Yu.A. Sekretarev. – Novosybyrsk: Yzd-vo NHTU, 2010. – 104 s. – ISBN 978-5-7782-1517-7.

РОЗВИТОК МЕТОДУ ЦИФРОВОЇ КОЛОРИМЕТРІЇ БІОТКАНИН ТА АЛГОРИТМ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

У роботі вдосконалено метод цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині. Розроблено алгоритмічне забезпечення засобу діагностики біотканин шкіри людини, що дозволяє визначити гістограму кольорів зображення патологічної біотканини шкіри (синця) при механічному ураженні тупим предметом, необхідну для роботи експертної системи для підтримки прийняття діагностичного рішення щодо стану досліджуваного зразка.

Ключові слова: цифрова колориметрія, біотканини, судово-медична експертиза

V.G. PETRUK, O.E. KVATERNYUK, Y.S. LYUBCHAK, S.M. KVATERNYUK

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

IMPROVING METHOD OF DIGITAL COLORIMETRY OF BIOLOGICAL TISSUES AND PROCESSING ALGORITHMS OF RESULTS

Abstract. The measurement of the color of surface damage biological tissues enables to receive objective information on the spatial distribution of various biological chromophores her skin and its structure, which can be used to diagnose different types of pathologies problems for forensic medicine. Relevance of the topic due to the need to improve the accuracy of diagnosis parameters of surface damage biological tissues of human skin based on their optical-physical parameters by improving digital colorimetry method. The study aims to improve methods and algorithmic support digital colorimetry of surface damage biological tissues in forensic medicine to help increase the speed and accuracy of diagnosis based on digital measurement and colorimetry color coordinates. In this paper, we improved the method of digital colorimetry surface damage biological tissues in forensic medicine. We have developed algorithms provide a means of diagnosing biological tissues of human skin, to determine the color histogram of image biological tissue pathological skin (bruise) in mechanical lesions blunt object necessary for an expert system for decision support diagnostic decision on the status of the sample. The described algorithm allows diagnostic tool known methods formalize visual expert evaluation term damage biological tissue of human skin due to blunt object trauma, the need to reduce subjectivity research in forensic diagnosis.

Key words: digital colorimetry, biological tissue, forensic examination

Вступ

На основі результатів опрацювання параметрів кольору поверхневих пошкоджень біотканин можливо діагностувати ступінь ушкодження біотканини. Для засобів діагностування поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині важливими є можливість оперативного визначення та документальної фіксації ступеня ушкодження, а також аналіз його особливих ознак. Вимірювання параметрів кольору поверхневих пошкоджень біотканин дає можливість отримати об'єктивну інформацію про просторовий розподіл у ній різних біологічних хромофорів шкіри та її структуру, що можливо використовувати для діагностики різного типу патологій для задач судової медицини. Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення точності діагностики параметрів поверхневих пошкоджень біотканин шкіри людини з урахуванням їх оптико-фізичних параметрів за рахунок вдосконалення методу цифрової колориметрії. Метою дослідження є вдосконалення методики та алгоритмічного забезпечення цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині, що дозволить підвищити швидкість та точність діагностики на основі цифрової колориметрії і вимірювання координат кольору.

Розвиток методу цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині

У роботі [1] наведено методику визначення і реєстрації кольору та розмірів ушкоджень в судово-медичних дослідженнях, що базується на визначенні кольору по кольоровій лінійці та відповідній до неї шкалі кольорів. Інша відома методика базується на визначенні кольору за допомогою шкали, що має форму кола, поділеного на 12 секторів, що зручно для цілісного сприйняття всієї кольорової гамми [2]. Недоліками цих методик є невідповідність рекомендаціям МКО [3] у питанні відповідності координат кольору елементів шкали існуючим системам координат кольору та типографського відтворення лінійки.

В основу створення нового методу поставлена задача реєстрації ушкодження та вимірювання координат кольору і розмірів ушкоджень судово-медичних дослідженнях в якому за рахунок використання шкали зразків кольорів доповненої сірим кольором, на яку нанесено метричну лінійку [4]; реєстрації даних про локалізацію, форму, розмір та колір ушкодження за допомогою цифрового фотоапарату; розрізнення кольору та визначення розміру ушкоджень за допомогою комп'ютерної діагностичної програми досягається можливість об'єктивного визначення кольору та розмірів об'єкта, а також цифрової фіксації результатів досліджень, що приводить до підвищення інформативності.

При типографському відтворенні шкали кольорів використаємо бібліотеку кольорів PANTONE та відповідний їй атлас [5], що дозволяє забезпечити високу ідентичність координат кольору при серійному виготовленні шкал кольорів для потреб бюро судово-медичної експертизи. Після того, як шкала кольорів була надрукована, перевірити відповідність координат кольору елементів її шкали можливо за допомогою спеціалізованих типографських денситометрів.

Для підвищення точності діагностування параметрів біотканин запропоновано метод та розроблено

засіб цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині, що дозволяє позбавитись цих недоліків. Об'єкт діагностування (досліджуванний зразок) та шкала зразків кольорів рівномірно освітлюється дифузно розсіяним світлом від джерела випромінювання, спектральна характеристика якого відповідає одному із стандартних джерел освітлення типу A, D65 чи F11, що рекомендовані МКО [3]. Дифузний розсіювач у вигляді інтегрувальної сфери не змінює спектральних характеристик випромінювання у заданому спектральному діапазоні (360-780 нм). Об'єкти формують зображення об'єкта діагностування та шкали зразків кольорів на вхід CCD-камери. Мікроконтролерний реєструючий пристрій фіксує і запам'ятовує цифрове кольорове зображення з виходу CCD-камери у форматі RGB, яке апаратно залежить від спектральних характеристик елементів CCD-камери. Оскільки робочий отвір інтегрувальної сфери має округлу форму, то доцільно використати шкалу кольорів з розміщенням елементів шкали по колу та робочим отвором в центрі. Блок розрахунку параметрів кольору елементів зображення з автокалібруванням перетворює зображення кольором пікселів у системі RGB до системи координат кольору CIEXYZ, враховуючи відомі значення координат кольору елементів шкали зразків кольорів, а потім перетворює зображення до системи координат кольору CIELAB, враховуючи координати кольору неушкодженої (контрольної) ділянки об'єкту діагностування. Блок визначення найближчого кольору зі шкали зразків кольорів для кожного елементу зображення визначає найменшу відмінність тону кольору у кольоровому просторі CIELAB для кожного елемента зображення до координат кольору елементів шкали зразків кольорів і присвоює елементу зображення відповідний номер елемента шкали зразків кольорів, створюючи гістограму кольорів досліджуваного зразка з кількістю кольорів рівною шкалі зразків кольорів. Блок розрахунку фізичних параметрів об'єкту розраховує фізичні параметри досліджуваного зразка на основі гістограми кольорів. Проблемно-орієнтована експертна система формує діагностичний висновок, щодо стану досліджуваного зразка. Описаний метод цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині дозволяє документально зареєструвати ушкодження біотканини шкіри за допомогою цифрової фотографії судово-медичним експертом та використати результати досліджень у якості доказової бази [6, 8].

Алгоритм роботи засобу цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин

На основі вимірювання координат кольору для кожного пікселя зображення визначимо найближчі кольори зі шкали зразків кольорів для кожного елемента зображення (рис. 1) шляхом визначення найменшої відмінності тону кольору у просторі кольорів CIELAB. Блок визначення найближчого кольору зі шкали зразків кольорів для кожного елемента зображення визначає

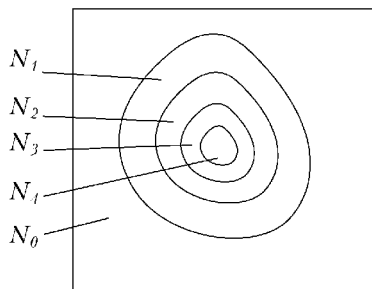


Рис. 1. Патологічна біотканина шкіри людини після механічної травми з зонами різного кольору

найменшу відмінність у тоні кольору ΔH_{abij}^* для кожного елемента зображення A_i до координат кольору елементів шкали зразків кольорів B_j (рис. 2) і присвоює елементу зображення відповідний номер елемента шкали зразків кольорів, створюючи

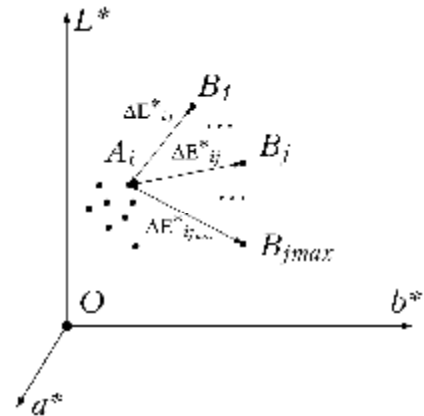


Рис. 2. Визначення повної колірної відмінності у колірному просторі CIELAB для елемента зображення

гістограму кольорів досліджуваного зразка із значенням у відсотках відносної площі зображення, яку займають елементи зображення з координатами кольору близькими до кожного з елементів шкали зразків кольорів за алгоритмом наведеним на рис. 3.

При перетворенні координат кольору з системи XYZ до LAB враховуються координати кольору неушкодженої (контрольної) ділянки об'єкту діагностування таким чином, що центр системи координат у системі LAB, який традиційно відповідає кольору робочого еталону білого кольору (точка O на рис. 2) зміщується до значення координат кольору інтактної біотканини.

Повна колірна відмінність ΔE_{abij}^* між кольорами у колірному просторі CIELAB визначається таким чином [7]:

$$\Delta E_{abij}^* = \sqrt{(\Delta L_{ij}^*)^2 + (\Delta a_{ij}^*)^2 + (\Delta b_{ij}^*)^2}, \quad (1)$$

$$\Delta L_{ij}^* = L_i^* - L_{ukj}^*, \quad (2)$$

$$\Delta a_{ij}^* = a_i^* - a_{ukj}^*, \quad (3)$$

$$\Delta b_{ij}^* = b_i^* - b_{ukj}^*, \quad (4)$$

де L_i^* , a_i^* , b_i^* – координати у колірному просторі елемента зображення; L_{ukj}^* , a_{ukj}^* , b_{ukj}^* – координати у колірному просторі елемента шкали зразків кольорів.

Відмінність у світлоті ΔL_{ij}^* практично не дає інформацію про стан ураженої ділянки біотканини, тому при оцінюванні колірної відмінності її варто вилучити і визначати відмінність у тоні кольору ΔH_{abij}^* . Відмінність у чистоті тону у системі МКО 1976 р. між елементом зображення біотканини та елементом шкали зразків кольорів визначається за формулою:

$$\Delta C_{abij}^* = C_{abi}^* - C_{abшкj}^*, \quad (5)$$

$$C_{abi}^* = \sqrt{(a_i^*)^2 + (b_i^*)^2}, \quad (6)$$

$$C_{abшкj}^* = \sqrt{(a_{шкj}^*)^2 + (b_{шкj}^*)^2}, \quad (7)$$

де C_{abi}^* – чистота тону елемента зображення; $C_{abшкj}^*$ – чистота тону елемента шкали зразків кольорів; a_i^* , b_i^* – координати кольору елемента зображення; $a_{шкj}^*$, $b_{шкj}^*$ – координати кольору елемента шкали зразків кольорів.

Відмінність у тоні кольору ΔH_{abij}^* між елементом зображення біотканини та елементом шкали зразків кольорів визначається за формулою:

$$\Delta H_{abij}^* = k_H \sqrt{(\Delta E_{abij}^*)^2 - (\Delta L_{ij}^*)^2 - (\Delta C_{abij}^*)^2}. \quad (8)$$

У випадку визначення найближчого кольору зі шкали зразків кольорів для кожного елемента зображення k_H приймаємо рівним одиниці (рис. 3).

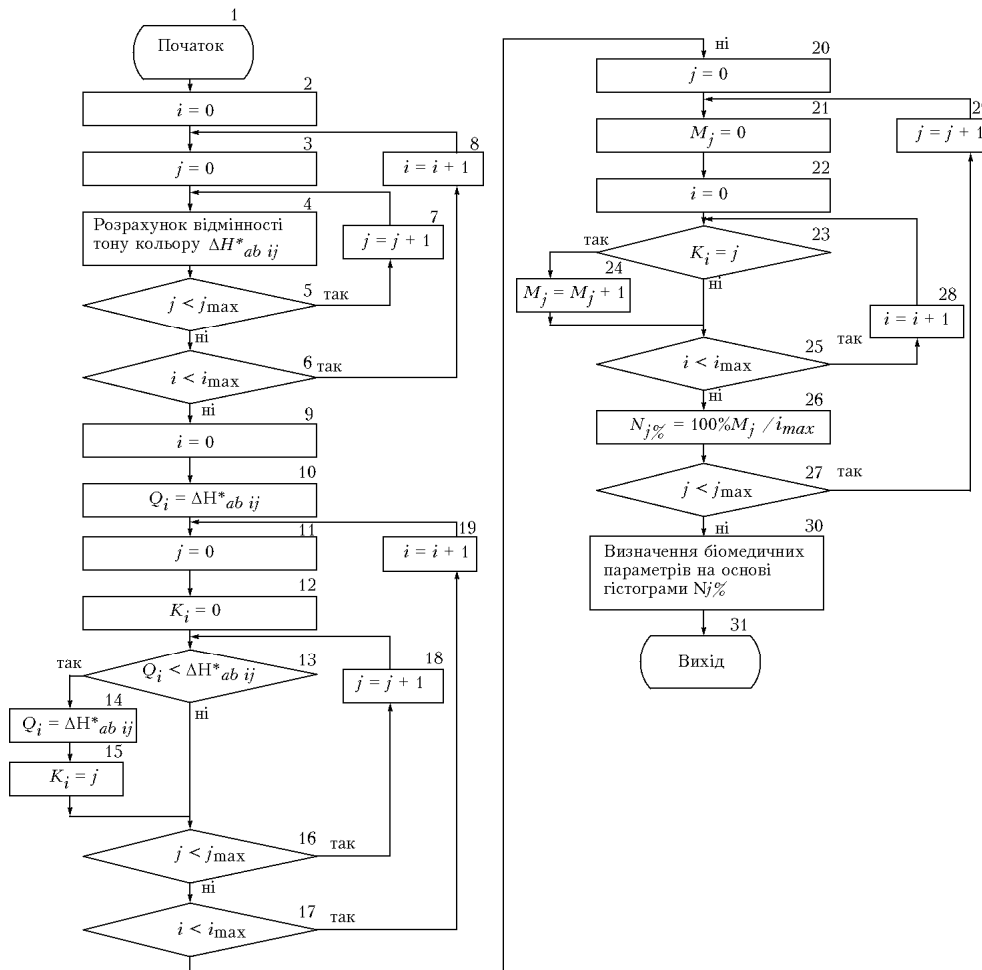


Рис. 3. Алгоритм визначення найближчих кольорів зі шкали зразків кольорів для елементів зображення та розрахунку гістограми

Розрахунок за формулами (1)–(8) проводиться $i \times j$ разів, де i – кількість елементів (пікселів) зображення, j – кількість елементів шкали зразків кольорів. Алгоритм визначення найближчих кольорів зі шкали зразків кольорів для кожного елемента зображення та розрахунку гістограми наступний. На початку роботи у подвійному циклі між блоками (2) та (6) розраховується відмінність у тоні кольору ΔH_{abij}^* для кожного елемента зображення до координат кольору елементів шкали зразків кольорів за формулою (8).

Далі у циклі між блоками (9) та (17) для кожного з i елементів зображення визначається до якого з j елементів шкали зразків кольорів відмінність у тоні кольору ΔH_{abij}^* буде найменшою, де Q_i – мінімальна відстань у колірному просторі, K_i – номер елемента шкали зразків кольорів до якого відстань у колірному просторі найменша. У циклі між блоками (20) та (27) підраховується кількість елементів зображення M_j , відстань у колірному просторі у яких найближча до j -того елемента шкали кольорів. Далі отримана кількість пікселів M_j переводиться у відносну кількість пікселів у відсотках $N_{j\%}$, яку займають елементи зображення з координатами кольору близькими до кожного з елементів шкали зразків. Отримана гістограма $N_{j\%}$ пов'язана з біомедичними параметрами об'єкту діагностики та подається на вхід експертної системи разом з біомедичними параметрами пацієнта з анкетних даних. На виході експертна система на основі нейромережі чи нечіткої логіки повинна сформулювати діагностичне рішення щодо стану досліджуваного зразка.

Висновки

Вдосконалено метод цифрової колориметрії поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині, що дозволяє документально зареєструвати ушкодження біотканини шкіри судово-медичним експертом та використати результати досліджень у якості доказової бази. Розроблено алгоритмічне забезпечення засобу діагностики біотканин шкіри людини, що дозволяє визначити гістограму кольорів зображення патологічної біотканини шкіри при механічному ураженні тупим предметом. Описаний алгоритм роботи засобу діагностики дозволяє формалізувати відомі методики візуального експертного оцінювання терміну ушкодження біотканини шкіри людини внаслідок травми тупим предметом, що необхідно для зменшення суб'єктивності проведення досліджень у судово-медичній діагностиці.

Література

1. Автандилов Г.Г. Краткая шкала цветов. Практическое пособие для судебно-медицинских экспертов и патологоанатомов / Г.Г. Автандилов. – М.: Наука, 1962. – 23 с.
2. Кононенко В.И. Судебно-медицинская оценка трупных пятен / В.И. Кононенко. – Харьков, 1993. – 28 с.
3. ISO 787-1:1982 General methods of test for pigments and extenders – Part 1: Comparison of colour of pigments. Committee: ISO/TC 256, Edition: 1, Publication date: 1982-11-01. – 12 p.
4. Моканюк О.І. Об'єктивізація визначення кольорів у судово-медичних дослідженнях: монографія / О.І. Моканюк. – Вінниця: Велес, 2001. – 52 с.
5. PANTONE Color Look-Up Table, Pantone Inc, 1995. – 360 с.
6. Моканюк О.І. Визначення кольору об'єкта в судово-медичній практиці (методичні рекомендації) / О.І. Моканюк, А.О. Гаврилюк, В.Г. Петрук, О.Є. Кватернюк. – К.: Український центр наукової медичної інформації та патентно-ліцензійної роботи, 2015. – 22 с.
7. ISO 7724-2:1984 Methods of test for paints. Optical tests on paint films. Determination of colour and colour difference: measurement – Colorimetry – Part 2: Colour measurement. Committee: ISO/TC 35/SC 9, Edition: 1, Publication date: 2013-11-18. – 8 p.
8. Спосіб визначення і реєстрації кольору та розмірів ушкоджень в судово-медичних дослідженнях / В. Г. Петрук, О. І. Моканюк; О. Є. Кватернюк [та ін.] // Патент України №70759 МПК7 G01N 21/21 / заявл. 05.12.2011; опубл. 25.06.2012; Бюл. № 12. – 6 с.

References

1. Avtandilov G.G. Kratkaya shkala tsvetov / Prakticheskoe posobie dlya sudebno-meditsinskih ekspertov i patologoanatomov/. – М.: 1962. – 23 s.
2. Kononenko V.I. Sudebno-meditsinskaya otsenka trupnykh pyaten. – Harkov, 1993. – 28 s.
3. ISO 787-1:1982 General methods of test for pigments and extenders – Part 1: Comparison of colour of pigments. Committee: ISO/TC 256, Edition: 1, Publication date: 1982-11-01. – 12 p.
4. Mokanyuk O.I. Obektivizatsiya viznachennya koloriv u sudovo-medichnih doslidzhenniyah. Monografiya. – Vinnitsya: Veles, 2001. – 52 s.
5. PANTONE Color Look-Up Table, Pantone Inc, 1995. – 360 с.
6. Mokanyuk O.I. Viznachennya koloru obekta v sudovo-medichnly praktitsi (metodichnl rekomendatsiyi) / O.I. Mokanyuk, A.O. Gavrilyuk, V.G. Petruk, O.E. Kvaternyuk // Ukrayinskiy tsentr naukovoyi medichnoyi informatsiyi ta patentno-litsenziynoyi roboti. – K.: 2015. – 22 s.
7. ISO 7724-2:1984 Methods of test for paints. Optical tests on paint films. Determination of colour and colour difference: measurement – Colorimetry – Part 2: Colour measurement. Committee: ISO/TC 35/SC 9, Edition: 1, Publication date: 2013-11-18. – 8 p.
8. Sposib viznachennya i reestratsiyi koloru ta rozmiriv ushkodzen v sudovo-medichnih doslidzhenniyah / [V. G. Petruk, O. I. Mokanyuk; O. E. Kvaternyuk ta in.] // Pat. 70759 UKRAINA MPK7 G01N 21/21 / zayavl. 05.12.2011; opubl. 25.06.2012; Byul. № 12. – 6 p.

Рецензія/Peer review : 15.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

Т.Б. МАРТИНЮК, А.В. КОЖЕМ'ЯКО

Вінницький національний технічний університет

Л.М. КУПЕРШТЕЙН

Вінницький фінансово-економічний університет

ВЛАСТИВОСТІ МАТРИЦІ ЕЛЕМЕНТІВ ДИСКРИМІНАНТНИХ ФУНКЦІЙ

В роботі розглянуто властивості матриці елементів дискримінантних функцій, що визначають стохастичний характер оброблення елементів матриці за різницевиими зрізами.

Ключові слова: класифікація образів, дискримінантна функція, регресійний аналіз.

T.B. MARTYNIUK, A.V. KOZHEMIYAKO

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

L.M. KUPERSHTEIN

Vinnytsia Financial Economical University, Vinnytsia, Ukraine

THE PROPERTIES OF MATRIX ELEMENTS OF DISCRIMINANT FUNCTIONS

Abstract – The aim of this work is determining the temporal correlations in generally of difference cuts processing as mathematical dependence in view of the matrix elements dimension of discriminant functions. The difference cuts processing applying to processing such matrix elements adduct to the need regression analysis applying to determine the dependence of the maximum number of processing cycles N_{max} from the matrix demention $(m \times n)$. Typical properties of the matrix elements of discriminant functions, that are used in the pattern classification, include a stochastic difference cuts processing of matrix elements and dependence of temporal characteristics of the process on the dimension of the matrix $(m \times n)$ largely and the ratio between the values m and n .

Key words: pattern classification, discriminant function, regression analysis.

Вступ

Для класифікації образів, наприклад, при медичному діагностуванні [1], широко застосовують дискримінантний аналіз через можливість використання лінійних розподільчих функцій в ознаковому просторі між класами [2]. В цьому випадку класифікація образів виконується визначенням максимуму l -ої дискримінантної функції (ДФ), що відповідає l -му класу, до якого належить довільний вектор спостережень [2]. Але цей метод має суттєвий недолік через значний об'єм розрахунків значень лінійних ДФ та визначення максимальної серед них [1].

Разом з тим в роботах [3, 4] запропоновано новий підхід до оброблення елементів ДФ, що дозволяє, не обчислюючи значень ДФ, визначити максимальну серед них. Цей підхід використовує різницево-зрізовий (РЗ) принцип оброблення, розповсюджений на двовимірні (матричні) масиви даних [3]. Фактично, такий спосіб оброблення елементів ДФ у вигляді матриці представляє собою відсортування значень ДФ від мінімальної до максимальної, тобто дозволяє виконати їх ранжування [5]. Оскільки процес сортування має стохастичний характер, то визначення у загальному вигляді максимального значення тривалості цього процесу особливо при обробленні матричних масивів даних представляє певні труднощі.

Отже, метою даної роботи є визначення часових співвідношень процесу оброблення за різницевиими зрізами (РЗ) у загальному вигляді як математичних залежностей з врахуванням розмірності матриці елементів ДФ.

Постановка задачі

Використання різницево-зрізового оброблення двовимірних масивів даних передбачає формування початкової матриці A^0 з елементів відповідних ДФ $g_i(X)$ вигляду [3]:

$$g_i(X) = w_{i1}x_1 + w_{i2}x_2 + \dots + w_{in}x_n, \quad (1)$$

де $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ - вхідний вектор ознак образу;

w_{ij} - ваговий коефіцієнт входження j -го компонента x_j в i -й клас C_{ij} ; $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$.

Якщо кожний доданок ДФ $g_i(X)$ позначити як

$$a_{ij}^0 = w_{ij} \cdot x_j, \quad (2)$$

то ці доданки a_{ij}^0 відповідають елементам матриці A^0 таким чином:

$$A^0 = \begin{pmatrix} a_{11}^0 & a_{12}^0 & \dots & a_{1n}^0 \\ a_{21}^0 & a_{22}^0 & \dots & a_{2n}^0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1}^0 & a_{m2}^0 & \dots & a_{mn}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^0 \\ A_2^0 \\ \dots \\ A_m^0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

тобто елементи кожного рядка A_i^0 матриці A^0 (3) відповідають доданкам ДФ $g_i(X)$ (1). Як відомо, операція підсумовування вигляду (1) має властивості асоціативності і комутативності, тому однойменні елементи у стовпцях матриці A^0 можна зменшувати на певну величину, а самі елементи у рядках зсувати праворуч або ліворуч.

Таким чином, можна паралельно по всіх стовпцях матриці A^0 вилучити відповідний мінімальний елемент, що приведе до появи хоча б одного нульового елемента у кожному стовпці. Потім нульові

елементи можна перемістити з обміном у крайню праву вільну позицію у кожному рядку матриці A^0 . Ці дії – вилучення мінімального елемента у кожному стовпці і транспозиція нульових елементів у кожному рядку матриці – виконуються циклічно до моменту отримання першого нульового рядка у поточній матриці A^t , $t=1, N$, де N – кількість циклів оброблення. Це свідчить про визначення мінімальної за значенням ДФ $g_i(X)$, якій присвоюється найменший перший ранг. Цей процес продовжується циклічно до моменту отримання останнього нульового рядка A^N_l у матриці A^N , який має максимальний m -й ранг, а номер l -го рядка вказує на l -й клас, до якого належить вхідний образ, заданий вектором ознак X .

В роботі [6] було виконано імітаційне моделювання, що дозволило з використанням регресійного аналізу визначити математичні залежності для часових параметрів максимальної кількості циклів двовимірної оброблення за РЗ у вигляді:

$$N_{\max} = \frac{mn}{2} + 1, \quad (4)$$

оскільки коефіцієнти лінійної регресії дорівнюють $a_1 = 0,505$, $a_0 = 1,141$.

Мінімальна кількість циклів при цьому складає

$$N_{\min} = m, \quad (5)$$

що відповідає випадку, коли поступово обнулюється рядок матриці за кожний цикл оброблення.

Разом з тим у роботі [6] не було отримано математичних залежностей для трьох можливих варіантів співвідношення розмірності матриці: $m=n$, $m < n$, $m > n$, що представляє інтерес при попередньому оцінюванні часових витрат при обробленні матриць певної розмірності.

Використання регресійного аналізу для обчислення часових залежностей

Позначивши розмірність матриці ($m \times n$) як аргумент x , а величину $N_{\max}$ як y , можна використати лінійну регресію вигляду [7]:

$$y = f(x) = a_0 + a_1 x. \quad (6)$$

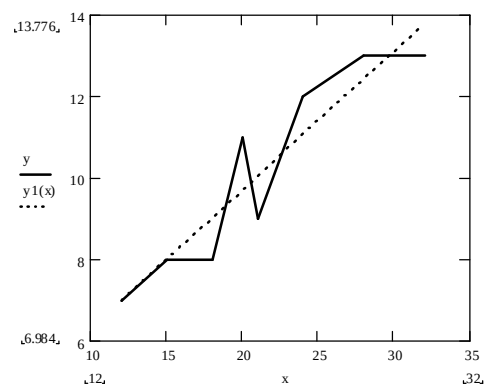
Задача регресійного аналізу в даному випадку полягає у знаходженні параметрів a_0 , a_1 з виразу (6), що дозволяє встановити функціональну залежність $y(x)$ за результатами вимірів (x_i, y_i) , $i = 1, k$, де k – кількість експериментів. Експериментальні дані (x_i, y_i) в даній роботі отримано у результаті розгляду конкретних варіантів оброблення за РЗ матриць елементів ДФ певної розмірності. Для обчислення коефіцієнтів лінійної регресії використовується широко відомий метод найменших квадратів, для чого у середовищі математичного пакету MathCad 2000 передбачено відповідні функції $\text{intercept}(x, y)$ і $\text{slope}(x, y)$ [7].

```

ORIGIN:= 0
G:= ⎛ 12 15 18 20 21 24 28 32 ⎞
   ⎜ 7  8  8  11  9  12  13  13 ⎟
F := GT    N := 8    x := F<0>    y := F<1>    i := 1.. N
a0 := intercept(x, y)    a0 = 2.908
a1 := slope(x, y)       a1 = 0.34
y1(x) := a0 + a1 · x

```

а)



б)

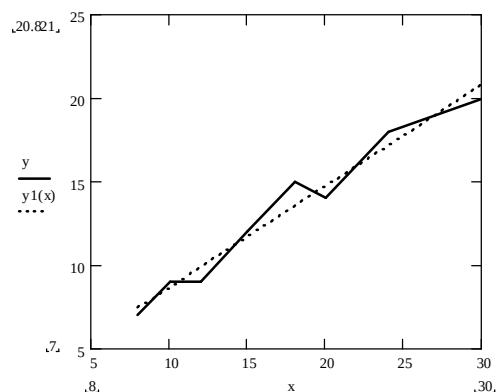
Рис. 1. Результати імітаційного моделювання при $m < n$

```

ORIGIN:= 0
G:= ⎛ 8 10 12 15 18 20 24 30 ⎞
   ⎜ 7  9  9  12  15  14  18  20 ⎟
F := GT    N := 8    x := F<0>    y := F<1>    i := 1.. N
a0 := intercept(x, y)    a0 = 2.598
a1 := slope(x, y)       a1 = 0.607
y1(x) := a0 + a1 · x

```

а)



б)

Рис. 2. Результати імітаційного моделювання при $m > n$

ORIGIN:= 0

$$G := \begin{pmatrix} 4 & 9 & 16 & 25 & 36 & 49 & 64 & 81 & 100 \\ 3 & 6 & 10 & 15 & 21 & 28 & 36 & 45 & 55 \end{pmatrix}$$

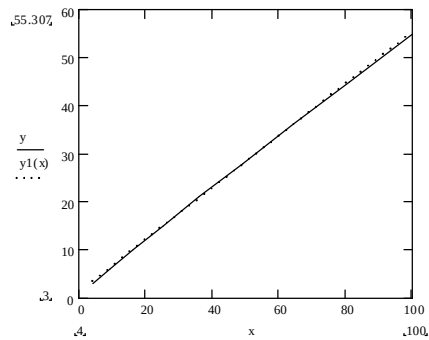
$$F := G^T \quad N := 9 \quad x := F^{(0)} \quad y := F^{(1)} \quad i := 1..N$$

$$a0 := \text{intercept}(x, y) \quad a0 = 1.283$$

$$a1 := \text{slope}(x, y) \quad a1 = 0.54$$

$$y1(x) := a0 + a1 \cdot x$$

а)



б)

Рис. 3. Результати імітаційного моделювання при $m = n$

В даній роботі проведено три варіанти імітаційного моделювання у середовищі MathCad 2000 відповідно для таких співвідношень розмірності матриці A^0 елементів ДФ: а) $m < n$; б) $m > n$; в) $m = n$. На рисунках 1,а–3,а наведено фрагмент робочого документа MathCad, який містить відповідну таблицю експериментальних даних G та результати обчислення коефіцієнтів лінійної регресії a_0, a_1 . На рисунках 1,б–3,б показано відповідний графік, що відображає залежність $y = f(x)$ для наведених даних G .

Аналіз отриманих результатів на рисунках 1,б–3,б показав, що найбільш наближеним до лінійного є графік на рисунку 3,б для квадратної матриці ($m = n$). При цьому коефіцієнти дорівнюють $a_1 = 0,54$, $a_0 = 1,283$, що відповідає визначеній раніше залежності (4). Найбільші відхилення від лінійного вигляду у графіків на рисунках 1,б і 2,б для співвідношення $m < n$, $m > n$ з коефіцієнтами відповідно $a_1 = 0,34$, $a_0 = 2,908$ і $a_1 = 0,607$, $a_0 = 2,598$. Це пов'язано із невідповідністю кількості рядків і стовпців матриці, що обробляються у кожному циклі.

Висновок

До характерних властивостей матриці елементів ДФ, що використовуються в процесі класифікації образів, можна віднести як стохастичний вигляд процесу оброблення за РЗ елементів матриці, так і залежність часових характеристик процесу в значній мірі від розмірності матриці ($m \times n$) та від співвідношення між величинами m і n .

Література

1. Юнкеров В. И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В. И. Юнкеров, С. Г. Григорьев. – СПб.: ВМедА, 2002. – 266с.
2. Дискриминантные функции для классификации многомерных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donut.edu.ua/2005/kita/kapustino/library/dscr-an2.htm>
3. Мартынюк Т. Б. Классификатор биомедицинских сигналов / Т. Б. Мартынюк, А. Г. Буда, В. В. Хомюк, А. В. Кожемяко, Л. М. Куперштейн // Искусственный интеллект. – 2010. – №3. – С. 88-95.
4. Martyniuk T. B., Kupershtein L. M., Kozhemiako A. V. etc. Applications of discriminant analysis methods in medical diagnostics. Optical Fibers and Their Applications, 2012. Proceedings of the SPIE, V.8698, article id.86980 G, 4pp.(2013). Doi: 10.1117/12.2019733.
5. Мартинюк Т. Б. Моделювання процесу ранжування значень дискримінантних функцій / Т.Б. Мартинюк, А.В. Медвідь, О.М. Гуцол // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №5. – С. 74-80.
6. Мартинюк Т.Б. Особливості паралельно-позрізового оброблення елементів матриць для класифікації об'єктів / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожемяко, А.В. Мельник // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. – №2(26). – С. 28-33.
7. Плис А.И. MathCad 2000. Математический практикум для экономистов и инженеров : учеб. пособие / А.И. Плис, Н.А. Сливина. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 656с.

References

1. Yunkero V. I., Grigoriev S.G. Matematiko-statisticheskaya obrabotka dannyh meditsinskih issledovaniy. Sankt-Peterburg, VMedA, 2002, 226 p.
2. Diskriminantnyie funktsii dlya klassifikatsii mnogomernyih ob'ektov [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://masters.donut.edu.ua/2005/kita/kapustino/library/dscr-an2.htm>
3. Martyniuk T. B., Buda A. G., Homjuk V. V., Kozhemiako A. V., Kupershtein L. M. Klassifikator biomeditsinskih signalov, *Iskusstvennyy intellekt*, 2010, No 3, pp.88-95.
4. Martyniuk T. B., Kupershtein L. M., Kozhemiako A. V. etc. Applications of discriminant analysis methods in medical diagnostics, *Optical Fibers and Their Applications*, 2012. Proceedings of the SPIE, V.8698, article id.86980 G, 4pp.(2013). Doi: 10.1117/12.2019733.
5. Martyniuk T. B., Medvid A.V., Hutsol O.M. Modeliuvannya protsesu ranzhuvannya znachen dyskrymantnyh funktsii, *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. 2013. No5, pp. 74-80.
6. Martyniuk T. B., Kozhemiako A. V., Mel'nyk A. V. Osoblyvosti paralel'no-pozrizovogo obroblyennya elementiv matryts` dlya klasyfikatsii ob'ektiv, *Optyko-elektroni informatsiyno-energetychni tehnologii*, 2013, Vol. 2(26). pp. 28-33.
7. Plis A.I., Slivina N.A. MathCad 2000. Matematicheskii praktikum dlya ekonomistov i inzhenerov, Moskva, Finansy i statistika, 2000, 656 p.

Рецензія/Peer review : 5.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Дубовой В.М.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОТАКТНОГО ТВЕРДОТІЛОГО МОДУЛЯТОРА

Наведені результати математичного моделювання двотактного твердотілого модулятора із покращеними характеристиками, що дозволяє підвищити ефективність імпульсних модуляторів. Досліджено структурну та електричну схеми двотактного твердотілого модулятора з сучасною напівпровідниковою елементною базою, на основі якої побудовані високовольтні твердотілі ключі. Розроблено схему комірки модулятора з використанням МОП польового транзистора, а також запропоновано для цієї схеми алгоритм чисельного знаходження напруг і струмів. На основі запропонованої математичної моделі двотактного твердотілого модулятора проведено оцінку напруг і струмів в колах модулятора з високою точністю.

Ключові слова: двотактний твердотілий модулятор, твердотілий ключ, схема комірки модулятора, математична модель.

D.A. MAKARYSHKIN, I.O. PYESHKOVA, O. S. SHYMKOV, R.P. HLADSKYI

Khmelnytsky National University, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF PUSH-PULL SOLID STATE MODULATOR

The results of mathematical modeling push-pull solid state modulator with improved characteristics that can increase the effectiveness of pulse modulators. Structural and electrical circuit push-pull solid state modulator with modern semiconductor element base on which to built solid-state high-key. A cell modulator circuit using MOS FET and the scheme proposed for numerical algorithm of voltages and currents. Based on the proposed mathematical model of push-pull solid state modulator evaluated voltages and currents in circles modulator with high accuracy.

Key words: push-pull solid state modulator, solid state key, cell modulator circuit, mathematical model.

ВСТУП

В даний час у радіотехніці для отримання НВЧ коливань високих рівнів потужності використовуються твердотілі і електровакуумні (ЕВП) генераторні прилади. З розвитком сучасних технологій виробництва та конструювання твердотілі пристрої активно завойовують діапазони частот аж до терагерцового діапазону [1, 2]. Розробка технологій виробництва активних НВЧ пристроїв на основі таких нових матеріалів як SiC, GaN, AlN відкриває широкі можливості для розвитку твердотілих генераторних пристроїв [1]. Для забезпечення вимог за величиною вихідної потужності використовуються схеми підсумовування потужності як на загальному навантаженні, так і в просторі [3].

Твердотілі прилади мають ряд переваг [4]: відносно низька напруга живлення; висока надійність; великий термін експлуатації.

Одним із шляхів поліпшення якісних параметрів імпульсів, які генеруються в радіопередавальних системах, що побудовані на електровакуумних приладах (ЕВП) НВЧ, є застосування в модуляторах високовольтних твердотілих ключів [5, 6, 7]. Завдяки появі потужних високовольтних ключових транзисторів, керованих напругою, виникла можливість конструювати малогабаритні імпульсні модулятори з робочими напругами до сотень кіловольт та імпульсними струмами до декількох сотень ампер, побудовані повністю на твердотілих елементах.

Такі модулятори володіють великим терміном експлуатації і здатні працювати при оперативній (від імпульсу до імпульсу) зміні параметрів сформованих імпульсів та їх послідовностей. При використанні твердотілих ключів в схемах з частковим розрядом накопичувальної ємності, модулюючі імпульси мають майже ідеальну прямокутну форму та високу повторюваність. Тривалості фронту і спаду за рахунок використання відповідних схемних рішень можуть укладатися в 20 ... 30 нс [6, 8, 9].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Високовольтні ключі є основним структурним елементом імпульсних модуляторів, які формують високовольтні імпульси напруги. Напруги живлення сучасних ЕВП НВЧ лежать в діапазоні від 1 кВ до 100 кВ. Розглянемо серійно випущені твердотілі комутуючі прилади, які здатні працювати з такими напругами. У таблиці 1 наведені основні види напівпровідникових комутуючих приладів і діапазони зміни їх основних параметрів [1, 2, 3].

Найбільш високовольтними приладами серед перерахованих є тиристори. Вони здатні комутувати великі струми. Однак їх основний недолік є великий час при перемиканні [10], що значно звужує коло завдань, в яких вони можуть бути застосовувані. В даний час найбільшого поширення набули транзистори, оскільки вони мають необхідні параметри по швидкодії і робочим струмам.

Порівнюючи таблиці 1 та 2, можна зробити висновок, що побудова імпульсних модуляторів на одиничних транзисторах можлива тільки у випадку сіткової модуляції при невисоких робочих напругах. Для отримання імпульсів напруги з необхідними параметрами доцільно використовувати складені високовольтні твердотілі ключі.

Таблиця 1

Параметри сучасних твердотілих комутуючих приладів

Тип приладу	Робоча напруга	Робочий струм	Час відкриття	Час закриття
Керовані тиристори	до 10 кВ	тисячі ампер	0,1...1 мкс	1...500 мкс
Біполярні транзистори	до 2 кВ	до 10 А	10...100 нс	0,1...1 мкс
Польові транзистори (MOS FET)	до 1,7 кВ	до 100 А	5...50 нс	5...200 нс
Біполярні транзистори з ізольованим затвором (БТІЗ, IGBT)	до 3 кВ	сотні ампер	10...100 нс	20...500 нс

Таблиця 2

Параметри сучасних модуляторів

Тип модулятора	Робочі напруги, кВ	Час відкриття, нс	Час закриття, нс	Робочі струми, А
Анодні одноктактні	5...100	1...200	1...200	1...200
Анодні двотактні	5...100	1...200	1...200	1...200
Сіткові	0,5...20 ¹	1...100	1...100	0,001...0,1
Захисні ключі	5...100	не більше 10000	менше 1000	10...1000

¹ - Розмах керуючої напруги між катодом і керуючим електродом. На катоді при цьому діє напруга до 100 кВ.

Як видно з таблиці 2, в системах імпульсного електроживлення ЕВП НВЧ переважно застосовуються двотактні модулятори, тому в подальшому будемо розглядати цей тип модуляторів. Однотактні модулятори і захисні ключі можуть бути отримані з двотактного модулятора шляхом відключення розрядного ключа.

Вибравши тип твердотілого модулятора для подальшого дослідження, складемо його структурну схему (рис. 1).

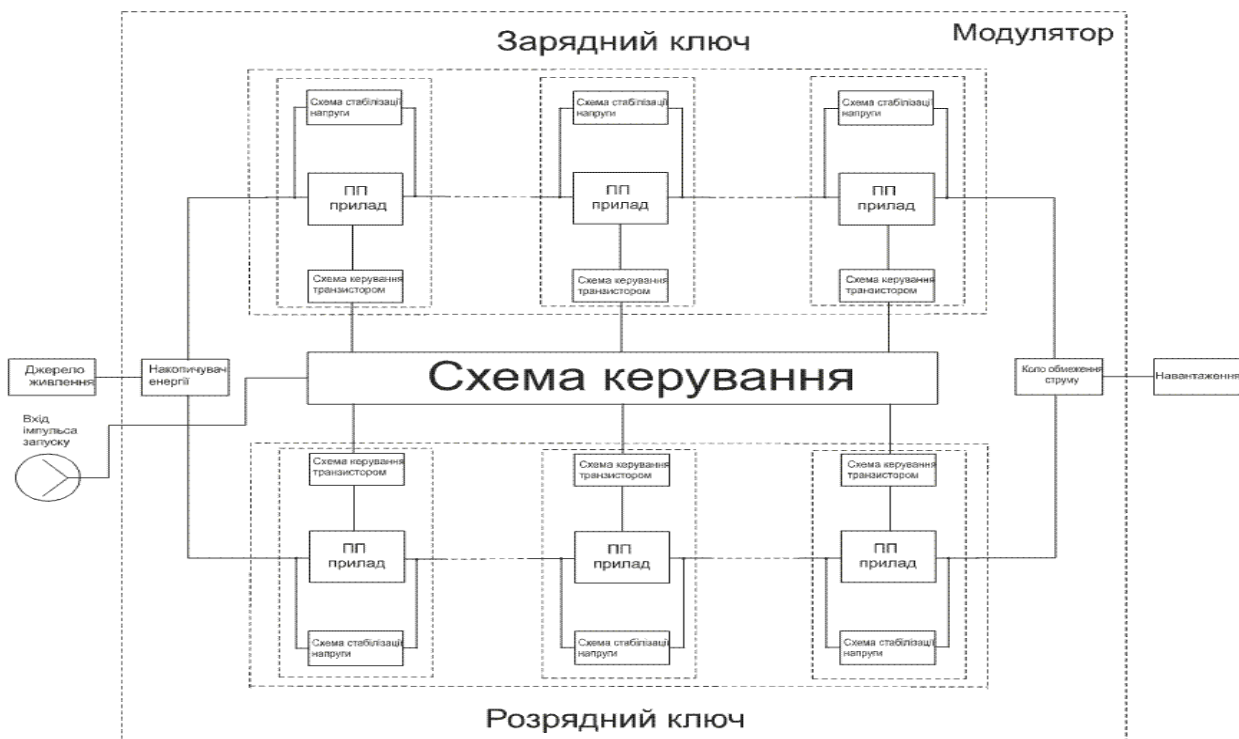


Рис. 1. Структурна схема твердотілого модулятора

Джерело напруги створює між вхідними клемми модулятора необхідну напругу. При появі керуючого імпульсу модулятор формує на вхідних клеммах навантаження імпульс напруги з необхідними параметрами. Навантаженням модулятора є ЕВП НВЧ. По закінченню керуючого імпульсу на навантаженні формується напруга, яка відповідає відсутності генерації на виході ЕВП.

До складу модулятора входять накопичувач енергії, який, як правило, являє собою конденсатор,

зарядний і розрядний ключі, кола обмеження струму. Твердотілі ключі складаються з послідовно з'єднаних транзисторів. До вхідних клем транзисторів підключені схеми керування, а до вихідних - схеми вирівнювання напруг. Окремий комутуючий напівпровідниковий прилад зі схемою керування і колами вирівнювання напруг надалі будемо називати коміркою ключа.

Як відомо, потужним генераторним ЕВП властиве періодичне виникнення електричних розрядів - пробойів всередині приладу. Під час пробойу ЕВП характеризується низьким опором [4, 5], тому, з урахуванням високої напруги живлення, струм, що протікає при пробойі, обмежується тільки опорами кіл живлення. Оскільки власний опір твердотілих ключів малий (1 ... 100 Ом), тому при їх використанні струм пробойу може становити тисячі Ампер, що значно перевищує значення, допустимих для сучасних транзисторів. Для обмеження струму пробойу у всіх схемах модуляції послідовно з ЕВП підключають кола з обмеження струму. В якості струмообмежуючих кіл можуть використовуватися пасивні елементи - опори й індуктивності, або активні елементи - транзистори, тиристори і т.п., які з'єднуються послідовно з навантаженням. У найпростішому випадку це може бути обмежувальний резистор. У разі використання анодної модуляції мінімальний опір даного резистора вибирається таким, щоб при пробойі в навантаженні не було перевищення значення максимально допустимого струму транзисторів, які утворюють ключ. При використанні сіткової модуляції у відсутності активних схем захисту від пробойів обмежувальний резистор розсіює більшу частину енергії накопичувача, і при цьому запобігає руйнуванню ЕВП.

У двотактних ключах при формуванні фронту імпульсу через зарядний ключ протікають струми заряду паразитних ємностей навантаження і розрядного ключа. Для зменшення впливу ємності розрядного ключа на форму напруги і фронт імпульсу в схему включають кола з обмеженням струму. У випадку аварійного одночасного відкриття ключів ці кола дозволяють зменшити наскрізні струми через ключі.

Наявність в модуляторі великої кількості дискретних приладів, які з'єднані послідовно, призводить до того, що їх паразитні параметри можуть істотно впливати на параметри сформованих модулятором імпульсів. Як показує практика розробки таких модуляторів, нехтування паразитними параметрами схеми призводить до суттєвих похибок при визначенні характеристик модуляторів.

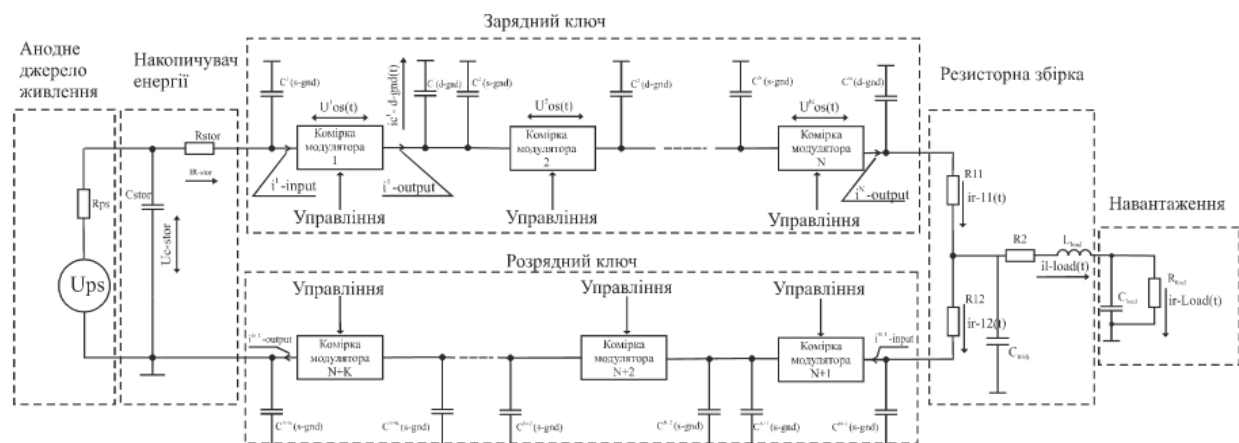


Рис. 2. Принципова схема досліджуваного модулятора

Як впливає з вимог, що висуваються до параметрів сформованих імпульсів, доцільно провести детальний аналіз факторів, які впливають на ці параметри в модуляторах, які побудовані на основі складених твердотілих ключів. Для цього необхідно: на основі структурної схеми модулятора розробити його принципову схему та визначити елементи схеми, що впливають на параметри сформованих модулятором імпульсів. На рисунку 2 приведена принципова схема двотактного твердотілого модулятора з джерелом напруги і навантаженням. У цій схемі враховані основні паразитні параметри її елементів. Тут U_{PS} - джерело напруги живлення модулятора; R_{PS} - внутрішній опір джерела напруги; R_{STOR} - внутрішній опір накопичувача. Як правило, цей опір набагато менший R_{PS} , тому для спрощення аналізу схеми він був підключений послідовно з накопичувачем; C_{STOR} - ємність накопичувального конденсатора.

Комірки модулятора з номерами 1 ... N утворюють зарядний ключ; комірки модулятора з номерами (N + 1) ... (N + K) утворюють розрядний ключ. R11, R12 і R2 - струмообмежуючі резистори. C_{R11} - паразитна ємність обмежувальних резисторів на корпусі модулятора. L_{LOAD} - індуктивність виводів навантаження.

Число комірок в зарядному ключі дорівнює N. Число комірок у розрядному ключі дорівнює K. Нумерацію комірок у модуляторі будемо проводити від накопичувача, з точки, що має найбільший потенціал відносно корпусу. Одним з найважливіших параметрів схеми є паразитна конструктивна ємність комірок модулятора на корпусі. Для зручності аналізу і уніфікації схеми ця ємність була розбита на дві

частини - C_{D-GND}, C_{S-GND} .

Число транзисторів в зарядному та розрядному ключі N і K визначаються, впливаючи з вимог до робочої напруги модулятора зі співвідношення $N = k_{вук} \cdot U_{PS} / U_{DS\max}$, де $k_{вук}$ - коефіцієнт використання за напругою, $U_{DS\max}$ - максимально допустима робоча напруга транзисторів.

Для подальшого аналізу схеми необхідно розглянути схему окремої комірки модулятора. Як було показано на рисунку 1, комірка модулятора складається з трьох структурних елементів. Розглянемо кожен з них. При цьому для зручності аналізу будемо користуватися методом еквівалентних схем.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОТАКТНОГО ТВЕРДОТІЛОГО МОДУЛЯТОРА

Практичне дослідження високовольтних модуляторів пов'язане зі значними труднощами: складно здійснювати безпосередні вимірювання струмів і напруг в елементах схеми, які знаходяться під високим потенціалом; вимірювальні прилади вносять додаткові паразитні ємності та опори, співрозмірні з величинами власних ємностей і опорів модулятора; складно відтворити реальні умови експлуатації; складно провести зміни в схемі модулятора, оскільки для підвищення електроміцності об'єм модулятора, як правило, заповнюється компаундами.

В даний час набув широкого поширення метод математичного моделювання електричних схем. Існують пакети програм для дослідження електричних схем з великою кількістю бібліотек стандартних елементів. Вони дозволяють проводити моделювання схем в різних умовах, надаючи широкий набір інструментів для проведення аналізу. Проте дані програмні продукти не дозволяють вносити зміни в характеристики залежностей параметрів елементів схеми. Наприклад, є неможливим змінювати залежності величин міжелектродних ємностей транзисторів від прикладених до них напруг. Також в стандартних пакетах програм досить складно здійснювати аналіз енергій, що виділяються в елементах схеми в певні проміжки часу. Для врахування індивідуальних особливостей напівпровідникових приладів, які використовуються в стандартних пакетах програм необхідно створювати нові елементи бібліотек і проводити повний комплекс вимірювань характеристик цих приладів. Але навіть в тому випадку, коли проведені вимірювання характеристик приладів, програми моделювання проводять "підгонку" ("подгонку") коефіцієнтів у стандартних функціональних залежностях, що описують характеристики приладів, по мінімуму середньоквадратичного відхилення відносно вимірних значень. Характеристики реальних приладів, як правило, відрізняються від ідеальних, які можна описати стандартними залежностями. Таким чином, результати моделювання в стандартних пакетах програм часто не призводять до задовільних результатів.

З метою підвищення точності розрахунків і адекватності результатів математичного моделювання твердотілих модуляторів реальній схемі, в даній роботі була поставлена задача створити математичну модель двотактного модулятора, побудованого на основі ключів, що складаються з великої кількості послідовно включених МОП польових транзисторів. На відміну від стандартних програмних пакетів дана модель дозволяє:

- оперативно змінювати параметри схеми, такі як кількість транзисторів в ключах і їх тип;
- задати з наперед заданою точністю характеристики (вольт- фарадні і інші) окремих транзисторів;
- задавати значення величин елементів схеми в залежності від їх місця розташування в схемі у вигляді аналітичних залежностей;
- проводити розрахунок потужностей і енергій, що виділяються в різних елементах схеми, на різних проміжках часу;
- отримувати графічне представлення напруг в будь-яких точках схеми, включаючи внутрішню напругу транзисторів, недоступні для безпосереднього практичного вимірювання, але, які дають інформацію про динамічні характеристики транзисторів.

Математичний опис схеми, наведеної на рисунку 2, будемо проводити за допомогою рівнянь Кірхгофа методом контурних напруг і вузлових струмів [11]. Також будемо користуватися властивостями неперервності струмів індуктивностей і напруг на ємностях.

Розглянемо контури протікання струму в модуляторі і напруги, що прикладаються до різних точок модулятора.

На рисунку 2 $i_{INPUT}(n, t)$ - струм, який втікає в комірку з боку витоку (емітера) транзистора, будемо називати цей струм вхідним струмом комірки, n - номер комірки модулятора, t - час. Напруги на стоку і витоку транзистора комірки відносно корпусу модулятора (тобто напруга, що прикладається до паразитних ємностей виводів стоку (колектора) C_{D-GND} і витоку (емітера) C_{S-GND} позначимо як $u_{C(D-GND)}(n, t)$ та $u_{C(S-GND)}(n, t)$. Вихідний струм комірки дорівнює вхідному струму.

Струм джерела живлення визначається різницею потенціалів джерела живлення $u_{PS}(t)$ і накопичувача $u_{C(STOR)}(t)$, обмежується внутрішнім опором джерела живлення:

$$i_{PS}(t) = \frac{[u_{PS}(t) - u_{C(STOR)}(t)]}{R_{PS}}. \quad (1)$$

Накопичувач розряджається через свій внутрішній опір на зарядний ключ. Струм розряду визначається різницею потенціалів накопичувача і стоку першого транзистора зарядного ключа:

$$i_{R(STOR)}(t) = [u_{C(STOR)}(t) - u_{C(S-GND)}(1, t)] / R_{STOR}. \quad (2)$$

Сумарний струм накопичувача дорівнює:

$$i_{C(STOR)}(t) = i_{PS}(t) - i_{R(STOR)}(t). \quad (3)$$

Струм розряду накопичувача, який втікає в зарядний ключ, розгалужується на вхідний струм першої комірки зарядного ключа і струм заряду паразитної ємності витоку першого транзистора зарядного ключа:

$$i_{C(S-GND)}(1, t) = i_{R(STOR)}(t) - i_{INPUT}(1, t). \quad (4)$$

Вихідний струм комірки розподіляється на струм заряду паразитних ємностей стоку даної комірки та витоку наступної комірки відносно корпусу та вхідний струм наступної комірки:

$$i_{C(D-GND)}(n, t) = [i_{INPUT}(n, t) - i_{INPUT}(n+1, t)] \cdot C_{D-GND}(n) / [C_{D-GND}(n) + C_{S-GND}(n+1)], \quad (5)$$

$$i_{C(S-GND)}(n+1, t) = [i_{INPUT}(n, t) - i_{INPUT}(n+1, t)] \cdot C_{S-GND}(n+1) / [C_{D-GND}(n) + C_{S-GND}(n+1)]. \quad (6)$$

Частина вихідного струму останньої комірки зарядного ключа йде на заряд паразитної ємності стоку даної комірки, а решта протікає через резистор R_{11} :

$$i_{C(D-GND)}(N, t) = i_{INPUT}(N, t) - i_{R11}(t). \quad (7)$$

Струм резисторів R_{11} , R_{12} розраховується з різниці потенціалів точок, до яких вони підключені:

$$i_{R11}(t) = [u_D(N, t) - u_{C(R11)}(t)] / R_{11}. \quad (8)$$

$$i_{R12}(t) = [u_{C(R11)}(t) - u_S(N+1, t)] / R_{12}. \quad (9)$$

Струм резистора R_{11} розподіляється за трьома напрямками: на заряд паразитної ємності C_{R11} ; в коло навантаження через паразитну індуктивність її виводів; в розрядний ключ через резистор R_{12} :

$$i_{C(R11)}(t) = i_{R11}(t) - i_{L(LOAD)}(t) - i_{R12}(t). \quad (10)$$

Приріст струму індуктивності навантаження визначається, виходячи з напруги, що прикладається до неї:

$$di_{L(LOAD)}(t) = u_{L(LOAD)}(t) \cdot dt / L_{LOAD}. \quad (11)$$

Струм через опір R_2 дорівнює струму індуктивності навантаження:

$$i_{R2}(t) = i_{L(LOAD)}(t). \quad (12)$$

Цей струм розділяється на струм заряду ємності навантаження і струм навантаження:

$$i_{C(LOAD)}(t) = i_{L(LOAD)}(t) - i_{LOAD}(t). \quad (13)$$

Струм навантаження визначається функціональною залежністю від напруги, що прикладається до неї:

$$i_{LOAD}(t) = f_{LOAD}(u_{LOAD}(t)). \quad (14)$$

Струм резистора R_{12} розподіляється на вхідний струм першої комірки розрядного ключа і струм заряду паразитної ємності витоку транзистора цієї ж комірки:

$$i_{C(S-GND)}(N+1, t) = i_{R12}(t) - i_{INPUT}(N+1, t). \quad (15)$$

Струм останньої комірки розрядного ключа замикається на корпус ключа:

$$i_{C(D-GND)}(K, t) = i_{INPUT}(K, t). \quad (16)$$

Падіння напруги на резисторах R_{11} , R_{12} і R_2 відповідно дорівнює:

$$u_{R11}(t) = i_{R11}(t) \cdot R_{11}, \quad (17)$$

$$u_{R12}(t) = i_{R12}(t) \cdot R_{12}, \quad (18)$$

$$u_{R2}(t) = i_{R2}(t) \cdot R_2. \quad (19)$$

Падіння напруги на індуктивності навантаження визначається як:

$$u_{L(LOAD)}(t) = u_{C(R11)}(t) - u_{LOAD}(t) - u_{R2}(t). \quad (20)$$

Зміна потенціалу, прикладеного до електродів накопичувального конденсатора, розраховується, виходячи з струму накопичувача, за формулою:

$$du_{STOR}(t) = i_{STOR}(t) \cdot dt / C_{STOR}. \quad (21)$$

Аналогічним чином розраховуються диференціали напруг на паразитних ємностях стоку і витоку транзисторів комірок, ємності C_{R11} і ємності навантаження відповідно:

$$du_{C(S-GND)}(n, t) = i_{C(S-GND)}(n, t) \cdot dt / C_{S-GND}(n); \quad (22)$$

$$du_{C(D-GND)}(n, t) = i_{C(D-GND)}(n, t) \cdot dt / C_{D-GND}(n); \quad (23)$$

$$du_{C(R11)}(t) = i_{C(R11)}(t) \cdot dt / C_{R11}; \quad (24)$$

$$du_{LOAD}(t) = i_{C(LOAD)}(t) \cdot dt / C_{LOAD}. \quad (25)$$

Напруга, що прикладається до кожної окремої комірки модулятора, розраховується як різниця потенціалів паразитних ємностей стоку і витоку відповідної комірки:

$$u_{CELL}(n, t) = u_{C(D-GND)}(n, t) - u_{C(S-GND)}(n, t). \quad (26)$$

Потенціал стоку останнього транзистора розрядного ключа дорівнює потенціалу корпусу модулятора:

$$u_{C(D-GND)}(K) = 0. \quad (27)$$

Рівняння (1) ... (27) складають систему, яка описує динаміку роботи двотактного твердотілого модулятора. Для подальших розрахунків необхідно встановити взаємозв'язок струму через комірку модулятора від прикладеної до неї напруги і величини керуючого сигналу.

Модель комірки складеного ключа, який побудований на МОП польовому транзисторі. На рисунку 3 наведена схема комірки модулятора, побудованої на основі МОП польового транзистора.

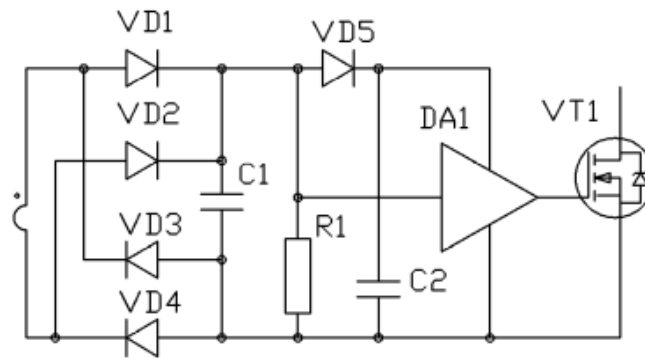


Рис. 3. Варіант схеми керування з допоміжним живленням

Керуюча напруга $u_F(n, t - t_i)$ прикладається до входних кіл комірки і надходить на виводи транзистора через обмежувальний опір R_{GOUT} та індуктивність L_{GOUT} , що враховують вплив елементів схеми керування транзистором. C_{GOUT} - ємність між затвором і витоком транзистора, що враховує паразитні ємності елементів схеми зберігання заряду і зосереджену ємність, яка використовується для компенсації розкиду значень входних ємностей транзисторів. D_{out} - захисний діод, який обмежує напругу, що прикладається до комірки модулятора.

Керуюча напруга, що прикладається до входних кіл комірки, задає положення формованого модулятором імпульсу у часі:

$$u_F(n, t - t_n) = f_F(n, t - t_n). \quad (28)$$

Струм каналу транзистора визначається напругами, що прикладаються до внутрішніх ємностей затвор-витік і стік-витік:

$$i_{DS}(n, t) = f_{i(DS)}(n, u_{GS}(n, t), u_{DS}(n, t)). \quad (29)$$

Приріст напруги на внутрішній ємності транзистора між затвором і витоком виражається як:

$$du_{GS}(n, t) = i_{C(GS)}(n, t) \cdot dt / C_{GS}(n, t). \quad (30)$$

Знаючи напругу, прикладену між стоком і витоком транзистора, і опір R_p , визначимо струм витоку транзистора:

$$i_{sum}(n, t) = u_{DS}(n, t) / R_p. \quad (31)$$

Зміну струму через індуктивності виводів стоку, витоку і затвора визначимо наступним чином:

$$di_{L(D)}(n, t) = u_{L(D)}(n, t) \cdot dt / L_D(n); \quad (32)$$

$$di_{L(G)}(n, t) = u_{L(S)}(n, t) \cdot dt / L_G(n); \quad (33)$$

$$di_{L(S)}(n, t) = u_{L(S)}(n, t) \cdot dt / L_S(n). \quad (34)$$

Приріст напруги, прикладеної між стоком і виток, розраховуємо за співвідношенням:

$$du_{DS}(n, t) = i_{C(DS)}(n, t) \cdot dt / C_{DS}(n, t, u_{DS}(n, t)). \quad (35)$$

Струм через канал транзистора визначається його опором і напругою, прикладеною між стоком і витком транзистора:

$$i_{DS}(n, t) = u_{DS}(n, t) / r_{DS}(n, t). \quad (36)$$

Струм вбудованого діода транзистора визначається напругою, прикладеною між стоком і витком:

$$i_{D(int)}(n, t) = f_{D(int)}(u_{DS}(n, t)). \quad (37)$$

Напруга, прикладена до внутрішньої індуктивності виводу затвора транзистора, розраховується як:

$$u_{L(G)}(n, t) = u_{C(G)}(n, t) - u_{GS}(n, t) - u_{R(G)}(n, t) - u_{L(S)}(n, t). \quad (38)$$

Диференціал напруги, прикладеної до прохідної ємності "стік - затвор", дорівнює:

$$du_{DG}(n, t) = i_{C(DG)}(n, t) \cdot dt / C_{DG}(n, t, u_{DS}(n, t)). \quad (39)$$

Падіння напруги на внутрішньому опорі виводу затвора транзистора визначається величиною цього опору і струмом, що протікає через нього:

$$u_{R(G)}(n, t) = i_{L(G)}(n, t) \cdot R_G(n). \quad (40)$$

Струми ємностей "стік-витік" і "стік-затвор" розраховуються як різниця між струмом індуктивності стоку і струмами каналу транзистора і внутрішнього діода. Струм заряду цих ємностей розподіляється між ними пропорційно їх величині:

$$i_{C(DS)}(n, t) = \frac{(i_{L(D)}(n, t) - i_{DS}(n, t) - i_{D(int)}(n, t)) \cdot C_{DS}(n, t, u_{DS}(n, t))}{[C_{DS}(n, t) + \frac{C_{DG}(n, t, u_{DS}(n, t)) \cdot C_{GS}(n, t)}{C_{DG}(n, t, u_{DS}(n, t)) + C_{GS}(n, t)}}]; \quad (41)$$

$$i_{C(DS)}(n, t) = \frac{(i_{L(D)}(n, t) - i_{DS}(n, t) - i_{D(int)}(n, t)) \cdot \left(\frac{C_{DG}(n, t, u_{DS}(n, t)) \cdot C_{GS}(n, t)}{C_{DG}(n, t, u_{DS}(n, t)) + C_{GS}(n, t)} \right)}{[C_{DS}(n, t, u_{DS}(n, t)) + \frac{C_{DG}(n, t, u_{DS}(n, t)) \cdot C_{GS}(n, t)}{C_{DG}(n, t, u_{DS}(n, t)) + C_{GS}(n, t)}}]. \quad (42)$$

Струм ємності "затвор-витік" складається із струму виводу затвора і струму прохідної ємності "стік - затвор":

$$i_{C(GS)}(n, t) = i_{L(G)}(n, t) + i_{C(DG)}(n, t). \quad (43)$$

Струм через внутрішній опір виводу затвора дорівнює струму індуктивності виводу затвора:

$$i_{R(D)}(n, t) = i_{L(D)}(n, t). \quad (44)$$

Падіння напруги на опорі виводу затвора дорівнює:

$$u_{R(D)}(n, t) = R_D(n) \cdot i_{R(D)}(n, t). \quad (45)$$

Падіння напруги на індуктивності виводу стоку визначається різницею прикладеної до комірки напруги від напруг, прикладених до інших елементів комірки, які розташовані послідовно з цією індуктивністю:

$$u_{L(D)}(n, t) = u_{CELL}(n, t) - u_{R(D)}(n, t) - u_{DS}(n, t) - u_{L(S)}(n, t) - u_{R(S)}(n, t). \quad (46)$$

Система рівнянь (28) ... (46) описує залежності напруг і струмів від часу всередині однієї комірки модулятора, побудованої на основі МОП польового транзистора.

Спільне рішення рівнянь (1) ... (46) дозволяє отримати значення напруг і струмів в будь-яких точках схеми модулятора, наведеної на рисунку 2.

Методи рішення рівнянь. Оскільки розглянута схема модулятора досить складна, містить в собі нелінійні елементи, які в загальному випадку мають параметри, що відрізняються один від одного, доцільно використовувати чисельні методи розв'язку розглянутих раніше диференціальних рівнянь.

У запропонованій роботі чисельне рішення диференціальних рівнянь проводилось методом Ейлера [12, 13]. Даний метод є одним з найпростіших, забезпечує прийнятну точність розрахунків при відповідному виборі кроку інтегрування. При використанні даного методу не вимагається забезпечення неперервності похідних функцій, що описують характеристики елементів схеми.

Згідно прийнятому чисельному методу розв'язку Ейлера тимчасова вісь розбивається на рівновеликі відліки. Відстань між сусідніми відліками називається кроком інтегрування Δt . Значення напруг і струмів для поточного відліку розраховуються за формулою $(t) = (t - \Delta t) + (t - \Delta t)' \cdot \Delta t$, де $(t - \Delta t), (t - \Delta t)'$ -

значення функції та її похідна в попередній момент часу $(t - \Delta t)$, $'(t - \Delta t) \cdot \Delta t$ - приріст функції за час Δt . Таким чином, типові задачі знаходження напруги на ємностях, і струмів індуктивностей можуть бути розв'язані наступним чином:

$$u_C(t) = u_C(t - \Delta t) + \int_{t-\Delta t}^t (i_C(t)/C) dt \rightarrow u_C(t - \Delta t) + i_C(t - \Delta t) \cdot \Delta t / C,$$

$$i_L(t) = i_L(t - \Delta t) + \int_{t-\Delta t}^t (u_L(t)/L) dt \rightarrow i_L(t - \Delta t) + u_L(t - \Delta t) \cdot \Delta t / L,$$

де C і L - величини ємності й індуктивності, $i_C(t)$ - струм ємності, $u_L(t)$ - напруга, що прикладається до індуктивності.

Розглянемо докладніше алгоритм чисельного знаходження напруг і струмів в схемі. Розрахунок струмів і напруг на кожному відліку складається з трьох кроків. На першому кроці визначаються значення сигналів на виході схем керування транзисторами модулятора $u_F(n, t) = f_F(n, t)$. Ці сигнали задаються детерміновано і визначають тимчасове положення вихідних імпульсів і їх тривалість. На другому кроці проводиться розрахунок струмів, що протікають в контурах схеми (рис. 2) і напруг на внутрішніх елементах еквівалентної схеми кожної комірки модулятора (рис. 4). На третьому кроці розраховуються значення напруг, що прикладаються до ємностей схеми (рис. 2).

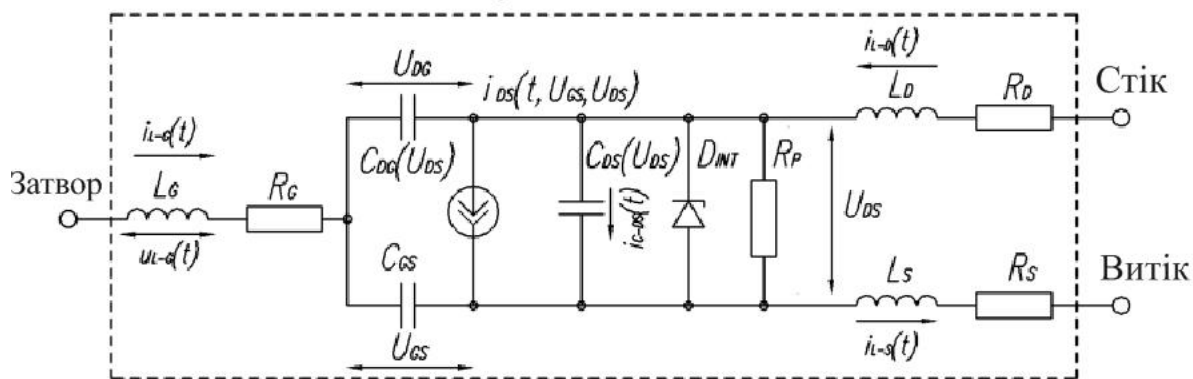


Рис. 4 – Еквівалентна схема польового МОП транзистора

Оскільки для рішення диференціальних рівнянь був обраний метод Ейлера, то важливим питанням є вибір величини кроку інтегрування Δt . Для забезпечення точності і збіжності отриманих рішень необхідно, щоб Δt було набагато менше постійних часу L-C, R-C, R-L кіл, утворених елементами схеми. Аналіз схеми показує, що найменша постійна часу буде у L-C кіл, утворених паразитними індуктивностями виводів транзисторів і паразитною ємністю транзисторів. Величина індуктивності виводів становить 5 - 50 нГн, ємність на корпус може становити 0,1..20 пФ. Тобто постійна часу цих кіл становить $10^{-11} \dots 10^{-9}$ с. Таким чином, постійна інтегрування повинна бути меншою 10^{-12} . Як правило, період повторення імпульсів не перевищує 1 мс, тому для вивчення процесів, що протікають в модуляторах, може знадобитися здійснити від 10^7 до 10^9 ітерацій обчислення.

ВИСНОВКИ

Розглянута сучасна напівпровідникова елементна база, на основі якої можуть будуватися високовольтні твердотілі ключі для використання у складі імпульсних модуляторів.

Складена структурна схема твердотілого модулятора, побудованого на основі складених ключів. Запропоновано схему елементарної комірки складеного ключа. Розглянуто характеристики елементів комірки.

На основі рівнянь Кірхгофа для схеми двотактного анодного модулятора складена система диференціальних рівнянь, що описує динаміку його роботи. Обґрунтовується необхідність врахування особливостей окремих елементів схеми.

Показана доцільність чисельного розв'язання рівнянь. Наводиться методика розв'язання цих рівнянь методом Ейлера. На підставі значень постійних часу L-C, R-C, R-L кіл, утворених елементами схеми, проводиться розрахунок кроку чисельного інтегрування.

За допомогою отриманої математичної моделі двотактного твердотілого модулятора за рахунок врахування особливостей окремих елементів можливе отримання оцінок напруг і струмів в колах модулятора з високою точністю. Це дозволяє прогнозувати характеристики твердотілого модулятора в реальних умовах.

Розроблена математична модель модулятора легко адаптується для застосувань в одноканальному варіанті і для використання складеного ключа в якості захисного.

Література

1. Каталог фірми Infineon. URL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.infineon.com> (дата звернення 20.1.2014)
2. Каталог фірми IXYSRF. URL[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ixysrf.com/> (дата звернення 20.1.2014)
3. Каталог фірми Електровипрямляч. URL[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.electroviprjamitel.ru> (дата звернення 20.1.2014).
4. Вилков А.Н. Восстановление управляемости по сетке ЭВП СВЧ О-типа после пробоя в схеме с постоянным напряжением на катоде / А.Н. Вилков // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. – 1998. – № 3. – С. 3-8.
5. Клэмпитт Л. О. Мощные электровакуумные приборы СВЧ / Л.О. Клэмпитт. – М.: Мир, 1974. – 135 с.
6. Казанцев В.И. Радиопередающие системы для мощных импульсных РЛС/ Казанцев В.И., Алексеев В.А., Сергеев В.Г., Хижняков П.М. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана спец выпуск. – 2009. – №2. – С. 145–149.
7. Казанцев В.И. Практика разработки современных радиопередающих систем для мощных импульсных РЛС СВЧ и КВЧ диапазонов / В.И. Казанцев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана спец выпуск. – 2009. – №2. – С. 130-144.
8. Алексеев В.А. Высоковольтная система электропитания (варианты) и электронный ключ для нее / В.А. Алексеев, В.И. Казанцев, В.Г. Сергеев. – М.: Техника, 2004. – 200 с.
9. Монин С.В. Сеточный твердотельный модулятор с широким диапазоном изменения параметров модулирующих импульсов/ Монин С.В., Млиник А.Ю., Казанцев В.И. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2003. – №1. – С. 106–115.
10. Вилков А.Н. Опасность пробоев для ЭВП СВЧ О-типа в разных схемах применения и электрические факторы, требующие ограничения для защиты приборов / А.Н. Вилков // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. – 1998. – №3(473). – С. 22-26.
11. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский, М.П. Демин. – К.: Радио и связь, 1994. – 482 с.
12. Агафонов С.А. Дифференциальные уравнения / С.А. Агафонов, А.Д. Герман, Т.В. Муратова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 555 с.
13. Корн Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М.: Наука, 1978. – 831 с.

Reference

1. Katalog firmu Infineon. URL: <http://www.infineon.com> (data zvernennia 20.1.2014).
2. Katalog firmu IXYSRF. URL: <http://ixysrf.com/> (data zvernennia 20.1.2014).
3. Katalog firmu Electrovupriamliach. <http://www.electroviprjamitel.ru> (data zvernennia 20.1.2014).
4. Vilkov A. N. Vostanovlenie upravliaemosti po setke EVP-CVCH O-tipa posle nroboia v sheme s postoiannum napriasheniem na katode: Elektronnaia tehnika. - Ser. CVCH-tehnika, 1998. - C. 3-8.
5. Klempit L. O. Moshchnue elektrovakuumnye priboru CVCH. M.: Mir, 1974. – 135 c
6. Kazantsev V. I. Radiopredauchshie sistemu dlia mochshnuih impylsnuh RLS / Kazantsev V. I., Alekseev V. A., Sergeev V. I., Hushniakov P. M. //Vestnik MGTU im. N. E. Baymana, spets vypusk. - 2009. - №2. - C. 145-149.
7. Kazantsev V. I. Praktika razrabotku sovremennuih radiopredauchshih sistem dlia mochshnuih impylsnuh RLS CVCH i KVCH diapazonov: Vestnik MGTU im. N. E. Baymana, spets vypusk, 2009. №2. - C. 130-144.
8. Alekseev V. A., Kazantsev V. I., Sergeev V. G. Vusokovoltnaia sistema electropitaniia (variantu) i elektronnyy klych dlia nee. M.: Tehnika, 2004.
9. Monin C. V. Cetohnuy tverdotelnyy modyliator c churokum diapazonom izmeneniia parametrov modyliruychshih impylsov/ Monin C. V., Mlunuk A. U., Kazantsev V. I.// Vestnik MGTU im. N. E. Baymana. Ser “Priborostpoenie”. - 2003. - №1.
10. Vilkov A. N. Opasnost probiov dlia EVP-CVCH O-tipa v raznuh chemah primeneniia i elektricheskie faktoru, trebyjchie ogranisheniia dlia zashitu priborov: Elektronnaia tehnika. - Ser. CVCH-tehnika, 1998. №3(473). - C. 22-26.
11. Gonorovskiy I. S., Demin M. P. Radiotekhnicheskie tsepi i signalu. K.: Radio i sviaz, 1994. - 248 c.
12. Agafonov S. A., German A. D., Myratova T. V. Dufferentsualnue uravneniia. M.: MGTU im. N. E. Baymana, 2004. - 555 c.
13. Korn G. A., Korn T. M. Cpravochnik po matematike dlia naychnuih rabotnicov i inzhenerov. M.: Nayka, 1987. - 831 c.

Рецензія/Peer review : 12.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

ДАЛЬНІСТЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОВІЗОРОМ НА ПІРОЕЛЕКТРИЧНІЙ МАТРИЦІ

В статті досліджувався вплив параметрів теплової матриці та об'єктива на основну характеристику оглядової тепловізійної системи – дальність розпізнавання. Показана доцільність зменшення розміру пікселя матриці як фактору збільшення дальності розпізнавання та необхідність узгодження цього зменшення з параметрами оптичної системи, для чого використано узагальнюючий критерій відношення частот зрізу модуляційних передавальних функцій об'єктива та матричного теплового приймача випромінювання.

Ключові слова: тепловізор, дальність розпізнавання, піроелектрична матриця, модуляційна передавальна функція, роздільна здатність, діафрагмове число, піксель.

V.V. IVANOVA, A.O. KYIANYTSIA, S.V. KOLOBRODOV

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

RECOGNIZABLE RANGE OF AN INFRARED IMAGER ON PYROELECTRIC FOCAL PLANE ARRAY

Abstract – the paper considers the uncooled focal plane array and lens parameters influence on the main infrared imaging system characteristic- detection range. Reducing of pixel size advisability as the factor of recognizable range increasing and matching this reducing with lens parameters necessity has shown. To this purpose ratio of detector and lens modulation transfer functions cutoff frequencies was used as a general criterion.

Keywords: infrared imager, detection range, pyroelectric UFPA, modulation transfer function, spatial resolution, F-number, pixel.

Вступ

Використання засобів спостереження неможливе без використання систем, що працюють в інфрачервоному діапазоні спектра. Тепловізори (ТПВ), в яких відсутні сканери та системи охолодження, завдяки малим габаритам, низьким енергоспоживанням та вартості є найбільш затребуваними. В сучасних неохолоджуваних тепловізорах такого класу застосовують теплові детектори (так звані Uncooled Focal Plane Array UFPA) у вигляді матриць мікроболометрів та піроелектричних матриць. Ключовою тенденцією останнього десятиліття в розробках провідних світових кампаній по виробництву UFPA було стрімке зниження розміру пікселя, аж до 12 мкм для мікроболометричної матриці, та відповідне збільшення їх кількості на матрицю [1,2]. З позицій виробництва переваги малопіксельних матриць очевидні, так як дозволяють здешевити технологію виробництва шляхом збільшення відсотку заповнення пластин-підкладок. Сам модуль UFPA стає компактнішим і дешевшим. Крім того, зменшення розміру детектора дозволяє розробникам застосовувати об'єктиви менших розмірів. А це, в свою чергу, суттєво зменшує вагу, розмір та енергоспоживання, і зрештою вартість системи. Для ручних тепловізорів перелічені фактори є визначальними.

В той час як випуск та номенклатура мікроболометричних матриць невинно зростають, з ряду технічних причин розробка і випуск піроелектричних матриць (ПМ) сповільнилась. Найменший розмір пікселя у відомих зразках становить 37 мкм, до того ж доцільність концентрації зусиль на зменшенні пікселя досліджувалась недостатньо. Серед недоліків реальних ТПВ на ПМ зазначають недостатню дальність дії. Тому важливим питанням є аналіз впливу розміру пікселя ПМ на характеристики ТПВ та обґрунтування доцільності подальших розробок з огляду на принципові переваги піроелектричних матриць над мікроболометричними. Наразі виникає проблема адекватної оцінки передбачуваних характеристик таких систем, зокрема, визначення максимальної дальності дії, виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єктів, та оцінка впливу на них параметрів окремих вузлів системи: матриці та об'єктива.

Постановка задачі

Метою статті є дослідження впливу розміру пікселя піроелектричної матриці та узгоджених з нею параметрів об'єктива на характеристики тепловізійної системи, зокрема, на дальність розпізнавання об'єктів.

Розрахунок максимальної дальності розпізнавання

Максимальна дальність розпізнавання (МДР) залежить від багатьох факторів, кожен з яких має різний вплив на очікувану величину [3]. Оцінка дальності є задачею з багатьма параметрами, причому вагомість кожного з них досить різна. Тому виглядає привабливим скористатись деяким узагальненим критерієм, який би врівноважив вплив кількох різних факторів. На дальність розпізнавання об'єкта безпосередньо впливає роздільна здатність системи. Для оцінки останньої використовують узагальнюючий

критерій $\frac{F l}{V_d}$, де F –діафрагмове число об'єктива, λ – довжина хвилі ІЧ випромінювання, V_d – розмір пікселя матриці [4]. Тому цілком обґрунтованим є скористатись цим критерієм при оцінці впливу розміру

пікселя на дальність розпізнавання ТПВ ПМ.

Так в [4] показано, що для даного критерія межі значення $0,41 \leq F\lambda/V_d < 1,0$ визначають область домінування детектора, в якій роздільна здатність системи обмежується розміром пікселя матриці. Якщо ж $1,0 \leq F\lambda/V_d < 2,0$ то це область домінування об'єктива, де роздільна здатність обмежується дифракцією на об'єктиві ТПВ. При цьому прямі постійних значень критерія $F\lambda/V_d$ обмежують можливі комбінації значень діафрагмового числа об'єктива і розміру пікселя матриці в межах зазначених областей, що показано на рисунку 1.

Рис. 1 – Залежність F від V_d . Прямі постійних значень критерія $F\lambda/V_d = 0,41; 1,0; 2,0$; суцільними горизонтальними лініями виділено діапазон $1,0 < F < 2,0$

Скористаємось отриманими результатами, ввівши параметр $C_{cr} = \frac{F\lambda}{V_d}$ в розрахунок дальності

розпізнавання. В основі методики розрахунку максимальної дальності розпізнавання МДР (R_r) лежить рівність усередненої мінімальної роздільної різниці температур МРРТ температурному контрасту об'єкта ΔT і критерій Джонсона, при умовах, прийнятих у стандарті НАТО 4247 [3]. Відповідно до критерія Джонсона для розпізнавання об'єкта необхідно, щоб уздовж його критичного (найменшого) розміру розміщувалась визначена кількість штрихів міри Фуко, яка залежить від ймовірності розпізнавання. За стандартом НАТО 4247 номінальні значення статичної дальності визначаються для об'єкта розміром $V_r \times W_r = 2,3 \times 2,3 \text{ м}^2$ з температурним контрастом між об'єктом і фоном (відносно температури АЧТ в 288 К) $\Delta T_o = 2 \text{ К}$.

За вихідний вираз для знаходження МДР візьмемо рівняння [3]:

$$\frac{R_r^3 \cdot \exp(\kappa_A R_r)}{M_s(v_{xr})} = \frac{0,965 \Delta T_o \cdot V_t \cdot A_p \cdot A_t \cdot \tau_o}{SNR(P_r) [7,45 \sqrt{-\ln(1-P_r)} - 1]} \cdot \sqrt{\frac{t_o f f_t}{A_d \alpha_d \beta_d}} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} D^*(\lambda) \frac{\partial M_\lambda(\lambda, T)}{\partial T} d\lambda \quad (1)$$

де R_r – максимальна дальність розпізнавання (МДР), км; $k_A = 0,2 \text{ км}^{-1}$ – показник ослаблення для сприятливих умов пропускання атмосфери; $M_s(v_{xr})$ – модуляційна передавальна функція (МПФ) системи на просторовій частоті об'єкта; A_p – площа вхідної зіниці об'єктива; A_t – площа об'єкта; P_r – ймовірність розпізнавання об'єкта; F – ефективне діафрагмове число об'єктива; τ_o – коефіцієнт пропускання об'єктива;

A_d – площа пікселя; $\frac{\partial M_\lambda(\lambda, T)}{\partial T}$ – диференціальна спектральна енергетична світність АЧТ; $SNR(P_r)$ – відношення сигнал/шум; f_f – частота кадрів; t_o – час розкладу одного елемента матриці; $t_e = 0,2 \text{ с}$ – часова стала ока; α_d, β_d – миттєве поле зору по горизонталі і вертикалі.

В спектральному інтервалі $8 \div 14 \text{ мкм}$ інтеграл в (1) дорівнює $2,63 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \text{К}}$ [3]. Згідно з критерієм розпізнавання Джонсона для ймовірності розпізнавання $P_r = 50 \%$ в критичному розмірі об'єкта має вкладатися 3 пари ліній, тобто $v_{xr} = 3R_r/V_t$. Врахувавши це та ввівши в (1) параметр C_{cr} , отримаємо

$$\frac{R_r^3 \cdot \exp(k_A R_r)}{M_s(R_r)} = \frac{0,965 \cdot \Delta T \cdot V_t \cdot A_t \cdot t_o \cdot A_p \cdot f_o}{SNR \cdot 6 \cdot V_d^2} \cdot \sqrt{t_o f f_t} \cdot D^* \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\partial M_\lambda(\lambda, T)}{\partial T} d\lambda, \quad (2)$$

де МПФ тепловізора визначається як

$$M_s(n_x) = M_o(n_x) M_d(n_x), \quad (3)$$

де f_o – фокусна відстань об'єктива, $M_o(n_x)$ – МПФ об'єктива, $M_d(n_x)$ – МПФ матриці детекторів.

Вважаючи об'єкт дифракційно обмеженим, а матрицю, складену з квадратних пікселів з кроком V_d , прийmemo згідно з [3]:

$$M_o(n_x) = \begin{cases} \frac{2}{p} \text{C}(\cos^{-1}(F l n_x) - (F l n_x) \sqrt{1 - (F l n_x)^2}), & \text{якщо } 0 \leq n_x \leq \frac{1}{F l} \\ 0, & \text{якщо } n_x \geq \frac{1}{F l} \end{cases} \quad (4)$$

$$M_d(n_x) = \frac{\sin(p V_d n_x)}{p V_d n_x} \quad (5)$$

Тоді для МПФ системи отримаємо

$$M_s(R_r) = \frac{\sin\left(p \frac{l}{D_o C_{cr}} 3 \frac{R_r}{V_t}\right)}{\left(p \frac{l}{D_o C_{cr}} 3 \frac{R_r}{V_t}\right)} \cdot \frac{2}{p} \cdot \left(\arccos\left(C_{cr} V_d 3 \frac{R_r}{V_t}\right) - C_{cr} V_d 3 \frac{R_r}{V_t} \sqrt{1 - \left(C_{cr} V_d 3 \frac{R_r}{V_t}\right)^2} \right), \quad (6)$$

де D_o – діаметр вхідної зіниці об'єктива.

Для чисельних розрахунків врахуємо в (2), що $SNR(P_r)=4,5$, $f_f = 50$ Гц, а для матриці 320×240 пікселів $t_o=0,26$ мкс. Значення питомої виявлювальної здатності, яка для теплових приймачів не залежить від довжини хвилі, прийmemo рівною $D^*=10^9$ см·Гц^{1/2}/Вт.

Результуючі залежності дальності розпізнавання ТПВ від розміру пікселя матриці для різних значень критерію C_{cr} показані на рисунку 2.

На рисунку 3 наведені залежності очікуваної дальності розпізнавання для ТПВ, роздільна здатність яких визначається об'єктивом (криві в області домінування об'єктива) або матрицею (права крива в області домінування детектора). Так як в неохолоджуваних ТПВ зазвичай застосовують об'єктиви з F між 1,0 і 1,4, то результати розрахунків для суттєво більших значень діафрагмового числа не брались до уваги.

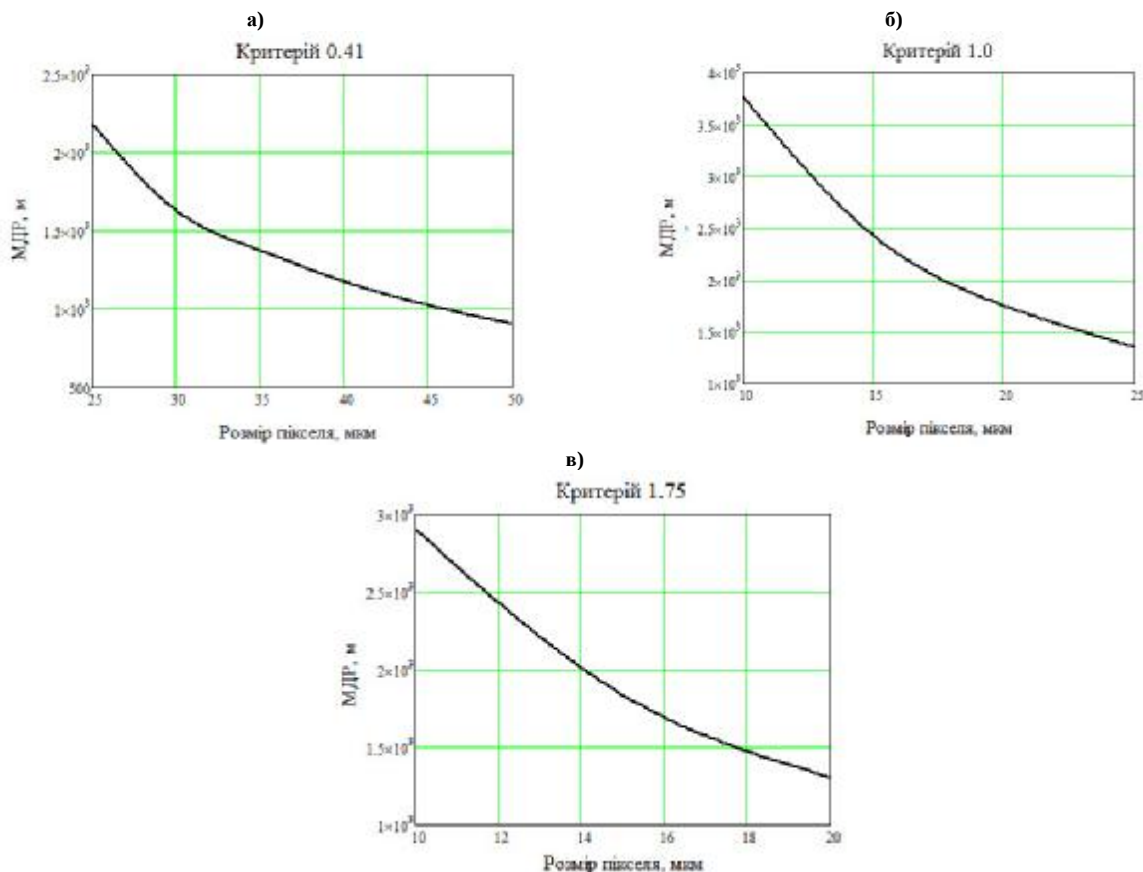


Рис. 2. Залежність МДР від розміру пікселя матриці для критерія; а) $C_{cr}=0,41$; б) $C_{cr}=1,0$; в) $C_{cr}=1,75$

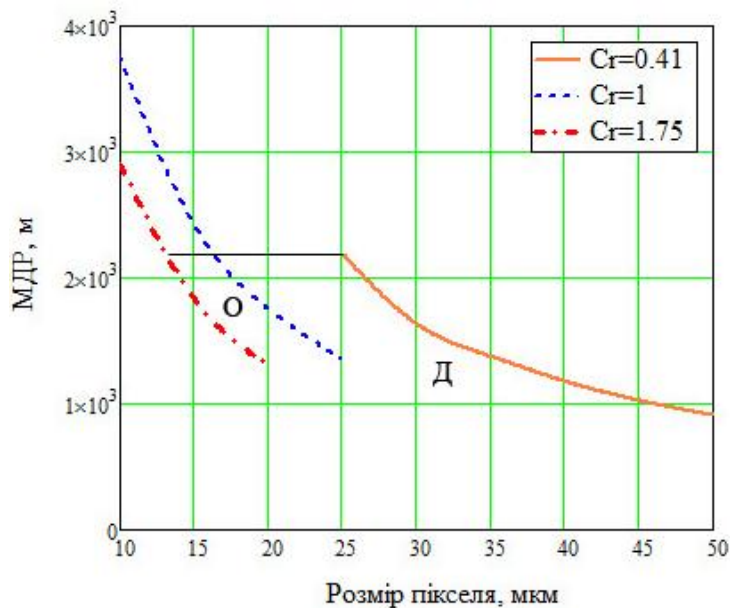


Рис. 3. Залежність МДР від розміру пікселя матриці для систем з роздільною здатністю, обмеженою об'єктивом або детектором

пікселя, рівним 25 мкм, з об'єктивом $F=1,0$, можна досягти такого ж очікуваного МДР, як і в системі з обмеженням роздільної здатності дифракцією на об'єктиві при $F=2,35$, однак з меншим розміром пікселя, рівним 13 мкм. Слід зазначити, що при цьому в останній системі значно погіршиться температурне розділення.

Висновки

При розрахунку максимальної дальності розпізнавання була взята до уваги необхідність узгодження з точки зору роздільної здатності параметрів об'єктива і теплової матриці. Для цього було використано узагальнений критерій $C_r = F\lambda/V_d$, за значенням якого система може бути віднесена до областей домінування об'єктива або матриці. Показано, що найкращі очікувані значення максимальної дальності розпізнавання можуть бути досягнуті при узгодженні роздільних здатностей об'єктива і матриці за критерієм рівності частот зрізу їхніх модуляційних передавальних функцій, тобто при $C_r=1,0$. При використанні об'єктива з діафрагмовим числом, рівним $F=1,0$, це узгоджується з застосуванням матриці з 10 мкм пікселями. Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості при попередніх розрахунках очікуваної МДР ТПВ ПМ визначити обґрунтовані взаємозалежні параметри матриці (розмір пікселя) і об'єктива, тобто діафрагмове число, поле зору, масо-габаритні характеристики і, зрештою, вартість.

Література

1. Becker S., Imperinetti P., Yon J.J., Ouvrier-Buffet J.-L., Goudon V., Hamelin A., Vialle C., Arnaud A. Latest pixel size reduction of uncooled IR-FPA at CEA, LETI // Proc. SPIE. – 2014. – 8541. – P.85410C-1-7.
2. Christel-Loic Tisse, Jean-Luc Tissot, Arnaud Crastes. An Information-Theoretic Perspective on the Challenges and Advances in the Race towards 12μm Pixel Pitch Megapixel Uncooled Infrared Imaging // Proc. SPIE. – 2014. – Vol. 8353. – P. 83531M1 – M15.
3. Колобродов В.Г. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження: підручник / В.Г. Колобродов, М.І. Лихоліт. – К.: НТУУ “КПІ”, 2007. – 364 с.
4. Кияниця А.О. Узгодження параметрів піроелектричної матриці та об'єктива тепловізора / А.О. Кияниця, В.В. Іванова, В.Г. Колобродов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – №1. – С.107 – 111.

References

1. Becker S., Imperinetti P., Yon J.J., Ouvrier-Buffet J.-L., Goudon V., Hamelin A., Vialle C. and Arnaud A. "Latest pixel size reduction of uncooled IR-FPA at CEA, LETI", Proc. SPIE., 2014, 8541, pp.85410C-1-7.
2. Christel-Loic Tisse, Jean-Luc Tissot, Arnaud Crastes. An Information-Theoretic Perspective on the Challenges and Advances in the Race towards 12μm Pixel Pitch Megapixel Uncooled Infrared Imaging, Proc. SPIE., 2014, 8353, P. 83531M1 – M15.
3. Kolobrodov V.H., Lykholit M.I., "Proektuvannia teploviziynykh i televiziynykh system sposterezhennia", Kiev, Ukraine, NTUU "KPI", 2007, 364p. [in Ukrainian]
4. Kyaniysia A.O., Ivanova V.V., Kolobrodov V.G. "Matching of pyroelectric uncooled focal plane array and lens of an infrared imager", Bulletin of Khmelnytsky National University, 2015, 1, pp.107-111.

Рецензія/Peer review : 3.5.2015 р. Надрукована/Printed : 15.5.2015 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИСПЕРСІЇ ТА НЕЛІНІЙНИХ ЕФЕКТІВ НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМ

Проведено дослідження впливу дисперсії та нелінійних ефектів на пропускну здатність волоконно-оптичних систем передачі інформації, а також огляд існуючих методів зменшення впливу нелінійних ефектів, міжмодової дисперсії та джиттера на пропускну здатність і довжину регенераційної ділянки волоконно-оптичних систем передавання. Запропоновано метод, який найкращим чином забезпечить підвищення пропускну здатності транспортної мережі шляхом зменшення впливу поляризаційно-модової дисперсії оптичних світловодів волоконно-оптичних систем передавання інформації.

Ключові слова: дисперсія, оптичне волокно, джиттер, нелінійні ефекти.

V.I. LUZHANSKYI, L.V. KARPOVA, S.O. STEPANOV

Khmelnytsky National University

STUDY OF THE INFLUENCE OF DISPERSION AND NONLINEAR EFFECTS ON THE BANDWIDTH OF FIBRE OPTIC SYSTEMS

The research influence of dispersion and nonlinear effects on the capacity of fibre optic data transmission systems, and review of existing methods of reducing the influence of nonlinear effects of polarization dispersion and jitter on the bandwidth and the length of the regeneration areas of fibre optic transmission systems. The method that best secure higher bandwidth transport network by reducing the influence of polarization Mode Dispersion optical light guide fibre optic systems transmit information with spectral multiplexing.

Keywords: dispersion, optical fibre, jitter, nonlinear effects.

Вступ

На сучасному етапі розвитку оптичних інформаційних технологій спостерігається стрімке зростання об'ємів трафіку, що передається лініями зв'язку, при цьому потреба у збільшенні пропускну здатності мереж зв'язку щорічно приблизно подвоюється. Вирішення цієї проблеми здійснюється шляхом модернізації існуючих волоконно-оптичних систем передавання (ВОСП) із застосуванням нових технологій, що дозволяють максимально використовувати ємність вже прокладених оптичних кабелів та потребують менших термінів реалізації і пов'язаних з цим витрат порівняно з будівництвом нових волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) з більш високими швидкостями передавання даних.

Якісними показниками оптоволоконних ліній зв'язку ВОЛЗ є швидкість передачі та завадостійкість сигналів. Зі збільшенням швидкостей у системах ущільнення оптичних каналів за довжинами хвиль WDM (Wavelength Division Multiplexing) виникають негативні явища, які впливають на якість сигналу, одним з яких є поляризаційна модова дисперсія (ПМД) та джиттер. Оптичні волокна ОВ транспортних мереж є анізотропним середовищем під впливом статичних і динамічних факторів (механічних спотворень), що призводить до різних швидкостей поширення поляризаційних складових і виникнення диференціальної групової затримки (ДГЗ), і як наслідок, поляризаційної модової дисперсії. Для боротьби з поляризаційною модовою дисперсією та джиттером використаємо метод підвищення пропускну здатності оптичної транспортної мережі за рахунок поканальної компенсації поляризаційної модової дисперсії оптичного волокна та зменшення впливу джиттера шляхом усунення впливу його детермінованої складової [1].

Постановка наукової задачі. Сучасна мережа синхронної цифрової ієрархії SDH (Synchronous Digital Hierarchy) побудована на базі мультиплексування з часовим розподілом каналів TDM (Time Division Multiplexing), дійшовши до швидкості передавання 10 Гбіт/с, зіткнувся з проблемами хроматичної та поляризаційної модової дисперсії, котрі на швидкості вищій від 10 Гбіт/с, починають суттєво впливати на якість передачі інформації. Таким чином, розширення пропускну здатності за допомогою TDM виявляється досить проблематичним. Ця проблема послужила поштовхом до створення систем ущільнення оптичних каналів за довжиною хвиль WDM [1].

Явища хроматичної та поляризаційної модової дисперсії в оптичному волокні ставлять обмеження на швидкість і дальність передачі сигналу. Для компенсації їх негативного впливу використовують різні методи: попереднє чіпування лазерного джерела, інверсію спектра в середині ділянки, волоконні бреггівські решітки з постійною лінійною складовою, що змінюється, волокно з компенсацією дисперсії і пристрої компенсації дисперсії [2].

На відміну від однохвильових систем передачі, в системах WDM актуальною стає компенсація дисперсії не на одній довжині хвилі, а в робочому діапазоні довжин хвиль, так звана компенсація нахилу дисперсії.

Оптичні волокна транспортних мереж є анізотропним середовищем під впливом статичних і динамічних факторів (механічних спотворень), що призводить до різних швидкостей поширення поляризаційних складових і виникнення диференціальної групової затримки, і, як наслідок, поляризаційної модової дисперсії. Основним завданням при створенні підсистеми моделювання оптичного волокна з двозаломленням було збереження адекватної залежності диференціальної групової затримки від довжини

хвилі оптичної несучої, тому для опису поширення світла через такі структури було вибрано багатосегментну структуру волокна і модифікований метод Джонса, що полягає у визначенні матриць для кожного із сегментів, що характеризується азимутом θ_i і затримкою $\delta_i = \omega \cdot \Delta\tau_i$:

$$M_i(\omega) = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta_i + e^{-i\delta_i} \sin^2 \theta_i & (1 - e^{-i\delta_i}) \cos \theta_i \sin \theta_i \\ (1 - e^{-i\delta_i}) \cos \theta_i \sin \theta_i & \sin^2 \theta_i + e^{-i\delta_i} \cos^2 \theta_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

де δ_i – випадковий зсув фаз між ортогонально-поляризованими складовими;

θ_i – азимут пластинки;

$\Delta\tau_i$ – максимальна часова затримка пластинки;

Формульне вираження результуючої матриці Джонса усього оптичного волокна: з N сегментів, T – це добуток матриць Джонса кожного сегмента:

$$T = \prod_{i=0}^{N-1} M_i(\delta), \quad (2)$$

де N – кількість сегментів оптичного волокна;

$M_i(d)$ – комплексна матриця Джонса;

T – добуток матриць Джонса кожного сегмента.

Як сума затримок кожного з сегментів визначається результуючий час затримки між швидким та повільним станами:

$$dgd_{\Sigma} = \sum_{k=1}^N dgd_k, \quad (3)$$

де dgd_k – диференціальна групова затримка сигналу оптичного волокна.

Створена підсистема моделювання оптичного волокна з двозаломленням використовує також методи статистичного моделювання і дозволяє досліджувати залежність диференціальної групової затримки від еліпса поляризації вхідного сигналу, довжини хвилі оптичної несучої і ширини смуги випромінювання оптичного джерела, а кількість сегментів і їх параметри безпосередньо пов'язати з коефіцієнтом ПМД і довжиною оптичного волокна [3].

Нелінійні ефекти виникають через нелінійну залежність індексу рефракції матеріалу оптичного волокна від потужності сигналу, що ним передається і можуть викликати шуми і спотворення оптичних імпульсів, що накладає обмеження на максимальну швидкість передавання і пропускну здатність ОВ, а також на довжину регенераційної ділянки. Для визначення впливу нелінійних ефектів використовується ряд аналітичних виразів, так як ці ефекти носять більше детермінований, ніж випадковий характер.

Тому, для визначення порогової потужності стимульованого розсіювання Брілюена (SBS) використовуємо вираз [5]:

$$P_{th}(SBS) \approx 21A_{eff} / g_B L_{eff}, \quad (4)$$

де $g_B = 5 \cdot 10^{-11}$ – типовий приріст SBS;

$L_{eff} = \frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\alpha L})$ – ефективна довжина ОВ;

$A_{eff} \approx \pi(MFD/2)^2$ – ефективна область, може знаходитися в діаметрі модового поля (MFD);

α – затухання в оптичному волокні.

Обчислюємо поріг потужності для стимульованого розсіювання Рамана (SRS) [5]:

$$P_{th}(SRS) = 16A_{eff} / g_R L_{eff}, \quad (5)$$

де $g_R = 10^{-13}$ – підсилювальний коефіцієнт SRS, м/Вт, при 1550 нм.

Явища SBS і SRS полягають в тому, що оптичний сигнал розсіюється і зміщується в область довгих хвиль. У випадку, якщо сумарна потужність сигналу в ОВ не перевищує допустимих значень, то впливом даних ефектів можна знехтувати.

Фазова самомодуляція починає проявлятися за потужності вхідного випромінювання $\sim 8...10$ мВт. Зміна фази викликає зсув частоти, що призводить до розширення спектру сигналу.

Зміна фази сигналу обчислюється за формулою [4]:

$$\Phi(SPM) = \gamma P_{in} L_{eff}. \quad (6)$$

де $\gamma = 2\pi n / \lambda A_{eff}$ – нелінійний коефіцієнт поширення;

P_{in} – вхідна потужність сигналу, Вт.

$n \approx 3.2 \cdot 10^{-20}$ – нелінійний коефіцієнт індексу рефракції, м²/Вт.

Виникнення перехресної фазової самомодуляції (ХРМ) відбувається тоді, коли потужність однієї хвилі викликає зміну показника заломлення середовища поширення і призводить до самомодуляції фази іншої хвилі. Зміну фази імпульсу під впливом ХРМ можна визначити за формулою [4]:

$$\Phi_1(XPM) = \gamma L_{eff} (P_1 + 2P_2 + \dots + 2P_n), \quad (7)$$

де $P_1, P_2 \dots P_n$ – потужність хвиль в оптичному волокні, (дБ).

Перехресна фазова самомодуляція є первинним обмеженням вхідної потужності для систем передавання зі спектральним ущільненням.

Чотирьоххвильове змішування виникає в системах передавання зі спектральним ущільненням каналів і полягає у виникненні паразитних хвиль, що призводить до втрати потужності сигналу і виникнення паразитних впливів в інших каналах системи. Основний параметр в рівнянні для ефективності FWM є $\Delta\beta$ – розузгодження фази FWM через дисперсії ортогональних хвиль:

$$\Delta\beta = \beta_i + \beta_j - \beta_k - \beta_{ijk} = \left(\frac{2\pi c}{\lambda^2}\right) \left(\frac{dD}{d\lambda}\right) \left(\frac{\lambda_i + \lambda_j}{2} - \lambda_0\right) (\lambda_i - \lambda_j) (\lambda_j - \lambda_k), \quad (8)$$

де $\beta_i, \beta_j, \beta_k, \beta_{ijk}$ – постійна розповсюдження;

$dD/d\lambda$ – нахил дисперсійної характеристики (відомий як S_0), ($\lambda_i \lambda_j \lambda_k$);

$\lambda_i \lambda_j \lambda_k$ – три оригінальні довжини хвилі, (нм);

λ_0 – нульова дисперсійна довжина хвилі, (нм);

λ – довжина хвилі передавання у вакуумі (1550 нм).

Визначення ефективності FWM проводимо за формулою [4]:

$$\eta = \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2}\right) \left(1 + \frac{4e^{-\alpha L} \sin^2(\Delta\beta L / 2)}{(1 - e^{-\alpha L})^2}\right) \left(\frac{\sin(N_A \Delta\beta L / 2)}{\sin(\Delta\beta L / 2)}\right), \quad (9)$$

де L – довжина ОВ, (м).

Наступним кроком є визначення потужності згенерованої довжини хвилі:

$$P_{ijk} = \left(\frac{D_{ijk}}{3} \gamma L_e\right) P_i P_j P_k e^{-\alpha L} \eta, \quad (10)$$

де $D_{ijk} = 3 \div 6$ – дегенеруючий чинник, залежний від міжканальної відстані і хроматичної дисперсії використовуваного оптичного волокна.

Для реалізації адекватної моделі оптичної транспортної системи необхідно виміряти її характеристики і параметри, для чого були вибрані методики і розроблені схеми експериментів з вимірювання диференціальної групової затримки в широкому спектральному діапазоні і джиттера (фазового тремтіння), що є актуальним в системах такого класу, а також були проведені вимірювання коефіцієнта бітової помилки. Результати вимірювань лягли в основу реалізації відповідних підсистем моделювання оптичної транспортної системи (ОТС), а також були використані для перевірки адекватності розробленої моделі.

Око-діаграма є одним із найефективніших методів аналізу параметрів цифрової системи передавання, тому саме цей метод і ліг в основу створення моделі ОТС. Даний метод дозволяє аналізувати як часові, так і енергетичні параметри цифрового сигналу.

При багатократному накладанні бітових послідовностей, що відображаються на екрані осцилографа у вигляді діаграми розподілу амплітуди сигналу в часі ми отримуємо око-діаграму.

Основним показником якості цифрових систем передачі є коефіцієнт помилок BER. Як правило, робота цифрових систем передачі вважається нормальною тільки в тому випадку, якщо BER не перевищує певне допустиме значення, що відповідає використовуваному мережевому стандарту.

Досить поширена методика оцінки коефіцієнта помилок BER на основі визначення Q-фактора. Q-фактор є параметром, який безпосередньо відображає якість сигналу цифрової системи передачі. Існує певна функціональна залежність Q-фактора сигналу і вимірюваного коефіцієнта помилок BER. Q-фактор визначається шляхом статистичної обробки результатів вимірювання амплітуди і фази сигналу на електричному рівні, а саме безпосередньо за око-діаграмою. При цьому виконується побудова функції розподілу станів «1» і «0», а для цих розподілів, в припущенні їх гаусової форми, оцінюються математичні очікування станів $E1$ і $E0$ і їх середньоквадратичні відхилення σ_1 і σ_0 (рис. 1 а).

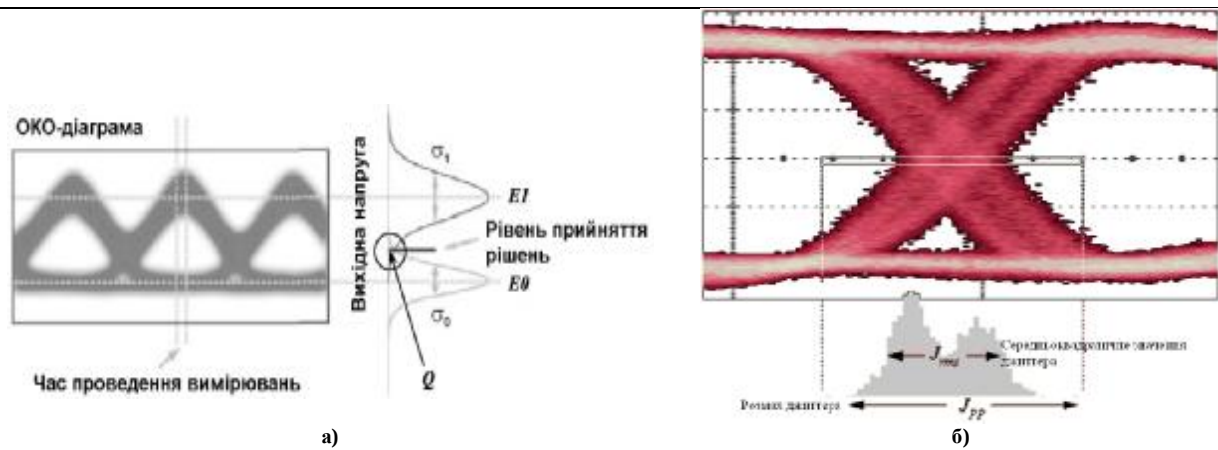


Рис. 1. Ідентифікація око-діаграми: а) оцінка Q-фактора; б) оцінка джиттера

Q-фактор розраховується за формулою:

$$Q = \frac{|E1 - E0|}{\sigma_1 + \sigma_0}. \quad (11)$$

Для визначення коефіцієнта помилок BER використовуємо:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \approx \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{Q^2}{2} \right). \quad (12)$$

Для оцінки розподілу джиттера, що призводить до часового зсуву оптичних імпульсів, визначають точку синхронізації і зміщення імпульсів, що передавалися через послідовність пристроїв і оптичних волокон відносно цієї точки. В результаті отримуємо такі параметри джиттера, як його середньоквадратичне значення і максимальний розмах (рис. 1 б). Шляхом детальнішого аналізу отриманих значень можна встановити деякі закономірності виникнення джиттера, що дозволить реалізувати схему зменшення його негативного впливу.

В основу розробленого методу компенсації ПМД покладено той факт, що диференціальна груповая затримка (ДГЗ) залежить від еліпса поляризації світлового випромінювання, що подається в оптичне волокно. Схему волоконно-оптичної системи передавання інформації зі спектральним ущільненням каналів і схемою компенсації поляризаційної модової дисперсії на основі модулятора вхідного світлового випромінювання, аналізатора ДГЗ і зворотного каналу для вибору найкращого еліпса поляризації вхідного випромінювання показано на (рис. 2).

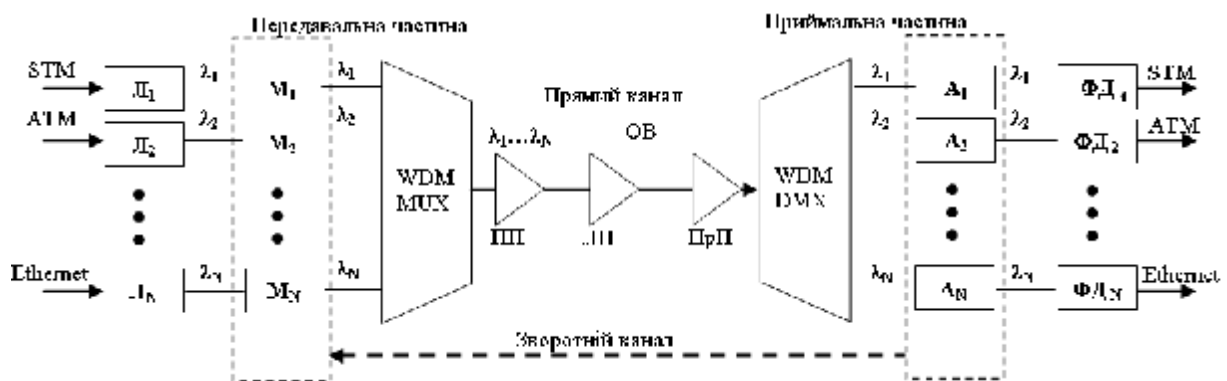


Рис. 2. Схema DWDM-системи передавання з поканальною компенсацією поляризаційно-модової дисперсії

Компоненти, що входять в схему (рис. 2): Л – одномодовий лазер; ПП – підсилювач потужності; ЛП – лінійний підсилювач (як правило EDFA); ПрП – попередній підсилювач потужності; ФД – фотодетектор; ОВ – оптичне волокно; WDM MUX – мультиплексор спектрального ущільнення; WDM DMX – демультимплексор спектрального ущільнення; STM, ATM, Ethernet – можливі види трафіка; М – модулятор – пристрій для зміни еліпса поляризації вхідного випромінювання; А – аналізатор – пристрій для визначення ДГЗ і для керування модулятором через зворотний канал.

Лазер Л випромінює лінійно-поляризоване світло, причому може використовуватися як лазер з внутрішньою модуляцією інтенсивності, так і передавальний оптичний модуль з зовнішнім модулятором. Випромінювання подається на модулятор М, далі сигнали всіх спектральних каналів подаються на оптичний WDM-мультиплексор, після якого груповий сигнал N спектральних каналів передається в оптичне волокно через широкопasmовий підсилювач потужності.

Схема компенсації ПМД, що показана штриховою лінією на рис. 2, дозволяє оперативно реагувати

на зміну ДГЗ. В якості модулятора використовується електрооптичний кристал. Під дією керуючої напруги кристал змінює двозаломлення, причому різниця показників заломлення швидкої і повільної осей залежить від величини прикладеної напруги. Для схеми компенсації ПМД потрібно, щоб модулятор дозволяв реалізувати різницю часу поширення швидкої і повільної складових в межах від 0 до $2\pi/\omega$, де ω – кутова частота оптичного сигналу. Зрозуміло, що для різної довжини хвилі оптичної несучої буде і різне значення прикладеної напруги для отримання однакової різниці ходу.

Аналізатор на виході ОВ вимірює значення ДГЗ в даний момент. Якщо значення ДГЗ перевищує максимально допустиме, то зворотним каналом передається сигнал на зміну вхідного еліпса поляризації. На модулятор в покроковому режимі подаються фіксовані значення напруги, а на виході аналізатора визначається ДГЗ сигналу. Передача даних ведеться неперервно на кожному еліпсі поляризації вхідного сигналу. Після проходження одного циклу вимірювань (зміна відносного зсуву фаз кристала від 0 до 2π з заданою кількістю кроків) на модуляторі встановлюється таке значення напруги, за якого ДГЗ на виході волокна приймало мінімальне значення, і цей вхідний стан поляризації зберігається до того моменту, поки значення ДГЗ знову не перевищить допустимого. Такий алгоритм компенсації використовується для кожного спектрального каналу окремо, незалежно один від одного [4].

Показником ефективності функціонування оптичних транспортних систем є пропускна здатність мережі, яка суттєво залежить від бітової швидкості передавання інформації, тому одним з основних питань, над яким працюють дослідники, є методи збільшення цієї швидкості. Звичайно, зі збільшенням швидкості передавання зростає і коефіцієнт бітової помилки під впливом обмежуючих факторів, основними з яких є дисперсія, джиттер і нелінійні ефекти.

Нагадаємо, що джиттер складається як з детермінованої, так і з випадкової складових. Детермінована складова залежить, в першу чергу, від фазових зсувів, що є постійними для заданої конфігурації ОТС (нелінійні ефекти, зсуви синхронізації тощо). Випадкова складова джиттера зумовлена шумом електронних компонент.

Ідея зменшення впливу джиттера є наступною – потрібно визначити величину детермінованої (систематичної) складової джиттера і зсунути точку синхронізації (детектування) сигналу на цю величину.

На рис. 3 показано залежність коефіцієнта бітової помилки (виражену Q-фактором) від вибору точки максимального розкриття око-діаграми.

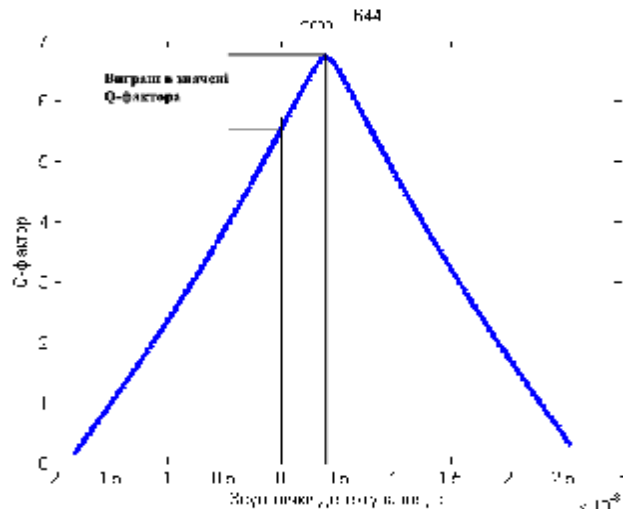


Рис. 3. Залежність Q-фактора від визначення точки максимального розкриття око-діаграми

Як видно з рисунка, максимальне значення Q-фактора отримуємо саме в точці математичного очікування величини джиттера, тобто його детермінованої складової. Це суттєво спрощує реалізацію схеми зменшення джиттера, так як статистичне значення залишається постійним, незалежно від коливань випадкової складової.

На рис. 4 (а, б) зображено око-діаграму сигналів, яку ми отримуємо на приймальному кінці без використання схеми та з її використанням.

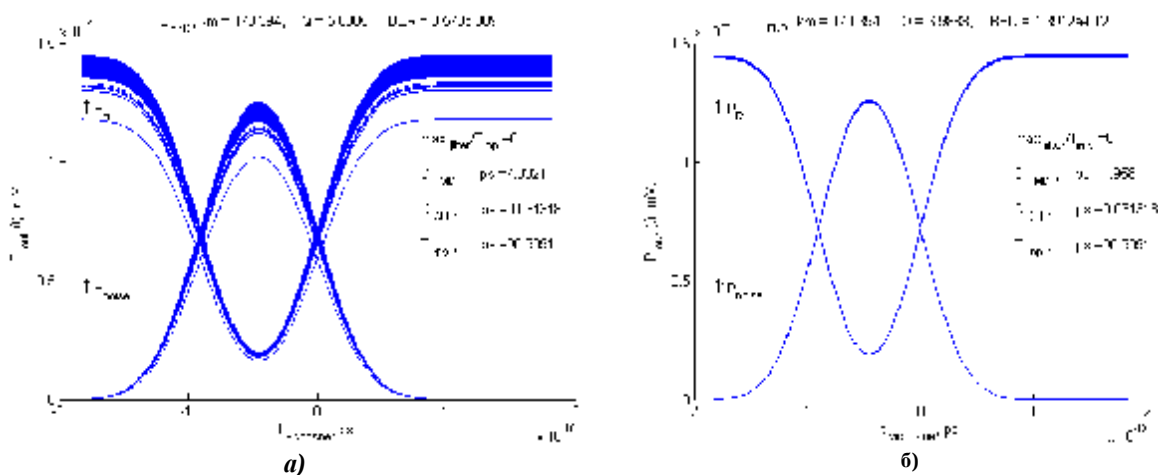


Рис. 4. Око-діаграма під час передачі імпульсів: а) без використання схеми компенсації ПМД; б) з використанням схеми компенсації ПМД

З отриманих результатів видно, що під час зменшення ПМД за допомогою схеми компенсації дозволяє на два порядки зменшити коефіцієнт бітової помилки.

Висновки

Запропоновано метод підвищення пропускної здатності оптичної транспортної мережі шляхом поканальної компенсації ПМД оптичного волокна та зменшення впливу джиттера, що дозволяє зменшити коефіцієнт BER і, відповідно, збільшити бітову швидкість передавання інформації системи зі спектральним ущільненням каналів. Встановлено, що ефективність використання запропонованих рішень зростає зі збільшенням бітової швидкості. Наприклад, при $BER=10^{-12}$ для швидкості 10 Гбіт/с майже немає виграшу у довжині регенераційної ділянки, а для швидкості 40 Гбіт/с з використанням запропонованих схем довжина регенераційної ділянки зростає приблизно в 2 рази.

Література

1. Нікіфороенко К.Б. Дослідження взаємних впливів в оптичних каналах DWDM систем / К.Б. Нікіфороенко, Ю.М. Панченко // Наукові записки УНДІЗ. – 2011. – № 1(17). – 5 с.
2. Поляризационная модовая дисперсия [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.fiberman.ru/articles/fiber-optical/polarization-mod-dispersion/>. – (Дата звернення 28.05.2015).
3. Олексін М.І. Модель оптичної транспортної системи на основі технології DWDM / М.І. Олексін, Є.М. Чернихівський // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2008. – № 618. – 10 с.
4. Олексін М.І. Вплив дисперсії і нелінійних ефектів оптичного волокна на параметри транспортних систем : автореферат. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.12.02 / Олексін М.І. / Одес. нац. акад. зв'язку ім. О.С. Попова. – Одеса, 2009. – 23 с.
5. Песков С.Н. Нелинейные искажения в волоконно-оптических кабелях [Електронний ресурс] / С.Н. Песков, А.И. Барг, И.А. Колпаков // Теле-Спутник. – Октябрь 2005. – № 10(120). – Режим доступу : <http://www.telesputnik.ru/archive/120/article/62.html>. – (Дата звернення 07.06.2015).

References

1. Nikiforenko K.B., Panchenko Yu.M. Doslidzhennya vzaemnih vpliviv v optichnih kanalah DWDM sistem. Naukovi zapiski UNDIZ. 2011. № 1(17). 5 s.
2. Poliarizatsionnaya modovaya dyspersiya. URL: <http://www.fiberman.ru/articles/fiber-optical/polarization-mod-dispersion/>. – (data zvernennya 28.05.2015).
3. Oleksin M.I., Chernihivskiy E.M. Model optichnoyi transportnoyi sistemi na osnovi tehnologiyi DWDM. Visnyk Nats. un-tu "Lviv. politehnika". Lviv 2008. № 618. 10 s.
4. Oleksin M.I. Vpliv dispersiyi i neliniynih efektyv optichnogo volokna na parametri transportnih sistem: avtoreferat dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk / Odes. nats. akad. zviazku im. O.S. Popova. Odessa 2009. 23s.
5. Peskov S.N., Barh A.Y., Kolpakov Y.A. Nelyneinye yskazheniya v volokonno-optycheskykh kabeliakh. Tele-Sputnyk. 2005. № 10(120). URL: <http://www.telesputnik.ru/archive/120/article/62.html>. – (data zvernennya 07.06.2015).

Рецензія/Peer review : 12.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., професор Мартинюк В.І.

В.Д. КОСЕНКОВ

Хмельницкий национальный университет

Д.А. ИВЛЕВ, А.В. ЯКОВЛЕВ

Одесский национальный политехнический университет

ОГРАНИЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА ИНДУКТОРНОГО ТИПА

Рассмотрены результаты расчета магнитного поля машины постоянного тока индукторного типа методом конечных элементов. Показано, что благодаря новым конструктивным решениям в такой электрической машине значительно возрастает перегрузочная способность по току и улучшается ряд удельных показателей.

Ключевые слова: реакция якоря, машина постоянного тока, метод конечных элементов, магнитное поле.

V.D. KOSENKOV

Khmelnitsky National University

D.A. IVLIEV, O.V. YAKOVLEV

Odessa National Polytechnic University

LIMITING ARMATURE REACTION IN DIRECT-CURRENT MOTOR INDUCTOR-TYPE.

The results of the calculation of magnetic field of direct-current motor inductor-type by the finite elements method were considered. It is shown that because of the new constructive solutions in such electrical machine the current capacity is significantly increased and the number of specific indicators are improved.

Keywords: armature reaction, direct-current motor, finite elements method, magnetic field.

Постановка проблемы

Как известно, уменьшить реакцию якоря в машине постоянного тока (МПТ) можно двумя способами: увеличив воздушный зазор на пути потока реакции якоря либо создав дополнительную МДС, направленную встречно МДС реакции якоря.

Наибольший интерес в плане повышения эффективности и КПД машины постоянного тока вызывает первый способ, связанный с отказом от компенсационной обмотки. В качестве примера такого подхода можно рассмотреть тяговый двигатель с беспазовым якорем. Размещение обмотки не в пазах, а на цилиндрической поверхности якоря позволяет создать в таком двигателе большой воздушный зазор (немагнитный слой) и отказаться от компенсационной обмотки, обеспечив при этом высокую перегрузочную способность. Однако наличие большого немагнитного слоя приводит к необходимости в 1,3-1,4 раза увеличить МДС обмотки возбуждения. Кроме этого, в меди якоря возникают повышенные потери от вихревых токов, существенно увеличивая ее температуру[1].

В машине постоянного тока индукторного типа (МПТИТ) большой немагнитный слой создается за счет открытых с обеих сторон пазов статора. Такое конструктивное решение позволяет существенно ослабить поле поперечной реакции якоря путем снижения магнитной проводимости в поперечном направлении, не прибегая к увеличению величины рабочего воздушного зазора.

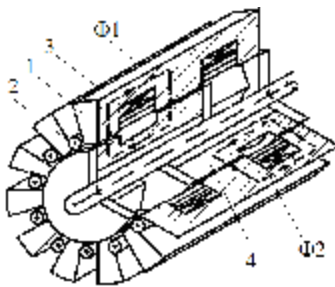


Рис. 1. Машина постоянного тока индукторного типа

Магнитная система МПТИТ (рис.1) не имеет общего ярма и состоит из ряда магнитно-несвязанных зубцов Ш-образной формы 1, между которыми уложены секции обмотки якоря 2, обмоток возбуждения 3 и полюсов 4 [2].

Работает МПТИТ следующим образом: при подаче напряжения на тороидальные обмотки возбуждения 3 взаимодействием основных встречно-параллельных магнитных потоков Φ_1 , Φ_2 и токов проводников секций обмотки якоря 2, находящихся в зоне действия полюсов 4 цилиндрического ротора, создается электромагнитный момент $M_{эм}$, под действием которого ротор приходит во вращение.

Задачей исследования является анализ поля реакции якоря в МПТИТ.

Основные результаты

В МПТИТ (рис.2) зубец одновременно выполняет роль стенки паза высотой h_n и ярма высотой ℓ_2 , при этом паз электрической машины открыт с обеих сторон. Рассмотрим, как влияет на МДС реакции якоря такая конструкция паза.

Запишем закон полного тока для данного паза при $x > h_n$

$$2 \cdot H_d \cdot d + H_{nm} \cdot b_n = I_n, \quad (1)$$

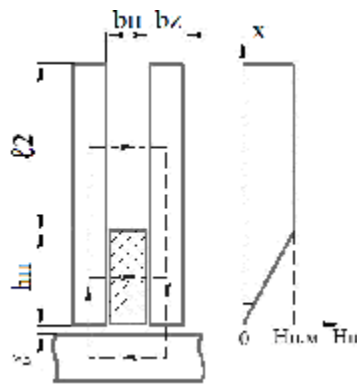


Рис. 2. Паз МПТИТ

где H_δ – напряженность поля в рабочем воздушном зазоре;
 δ – воздушный зазор;
 H_{nm} – максимальное значение напряженности поля в пазу;
 b_n – ширина паза.

Величина напряженности поля в рабочем воздушном зазоре определяется потоком Φ_1 на участке $x = 0 \dots h_n$ и потоком Φ_2 на участке $h_n \dots (h_n + l_2)$

$$\Phi_1 = m_0 \cdot \frac{H_{nm}}{2} \cdot h_n \cdot l_d,$$

$$\Phi_2 = m_0 \cdot H_{nm} \cdot l_2 \cdot l_d.$$

Тогда результирующий магнитный поток в рабочем воздушном зазоре будет

$$\Phi_d = \Phi_1 + \Phi_2 = m_0 \cdot H_{nm} \cdot l_d \cdot \left(\frac{h_n}{2} + l_2 \right).$$

Напряженность поля в рабочем воздушном зазоре

$$H_d = \frac{\Phi_d}{m_0 \cdot S_d} = \frac{\Phi_d}{m_0 \cdot b_z \cdot l_d} = H_{nm} \cdot \left(\frac{h_n}{2 \cdot b_z} + \frac{l_2}{b_z} \right)$$

Отсюда максимальное значение напряженности поля в пазу

$$H_{nm} = \frac{H_d}{\left(\frac{h_n}{2 \cdot b_z} + \frac{l_2}{b_z} \right)}. \quad (2)$$

Подставляя выражение (1) в (2) получим

$$2 \cdot H_d \cdot d + H_d \cdot \frac{b_n}{\left(\frac{h_n}{2 \cdot b_z} + \frac{l_2}{b_z} \right)} = I_n$$

Окончательно определим напряженность поля в рабочем воздушном зазоре

$$H_d = \frac{I_n}{2 \cdot d + \frac{b_n}{\left(\frac{h_n}{2 \cdot b_z} + \frac{l_2}{b_z} \right)}} = \frac{I_n}{2 \cdot d \cdot \left(1 + \frac{b_n}{2 \cdot d \cdot \left(\frac{h_n}{2 \cdot b_z} + \frac{l_2}{b_z} \right)} \right)} = \frac{I_n}{2 \cdot d \cdot K}$$

где $K = 1 + \frac{b_n}{2 \cdot d \cdot \left(\frac{h_n}{2 \cdot b_z} + \frac{l_2}{b_z} \right)}$ коэффициент уменьшения

напряженности поля.

Сравним паз, открытый с одной стороны (рис. 3), и паз, открытый с обеих сторон (Рис. 2), при условии одинаковой величины рабочего зазора и тока паза.

$$\text{У обычной МПТ } H_d = \frac{I_n}{2 \cdot d}, \quad \text{у МПТИТ } H_d = \frac{I_n}{2 \cdot d \cdot K}$$

если условно принять $\delta = 2$ мм, $b_n = b_z = 3$ см, $h_n = 10$ см, $l_2 = 40$ см

то

$$K = 1 + \frac{0,03}{2 \cdot 0,002 \cdot \left(\frac{0,1}{2 \cdot 0,03} + \frac{0,4}{0,03} \right)} = 1,5.$$

Таким образом, величина напряженности поля в рабочем воздушном зазоре стала в 1,5 раза меньше, чем у обычной МПТ. Если в рассмотренном примере уменьшить величину воздушного зазора МПТИТ до 1 мм, мы получим равные значения H_δ МПТИТ = H_δ МПТ, но при этом МДС обмотки возбуждения МПТИТ станет в два раза меньше.

На (рис.4 а, б, с) представлена геометрия (а) и распределение магнитного потока реакции якоря

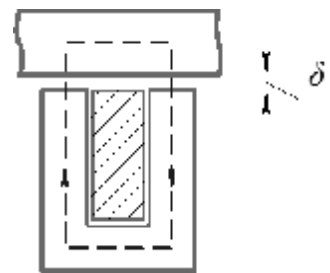


Рис. 3. Паз, открытый с одной стороны

МПТИТ без общего ярма (б) и МПТ с общим ярмом (с) для привода нереверсивного прокатного стана $P_n = 6000$ кВт, $U_n = 825$ В, $n_n = 200$ об/мин, выбраного в качестве аналога [3].

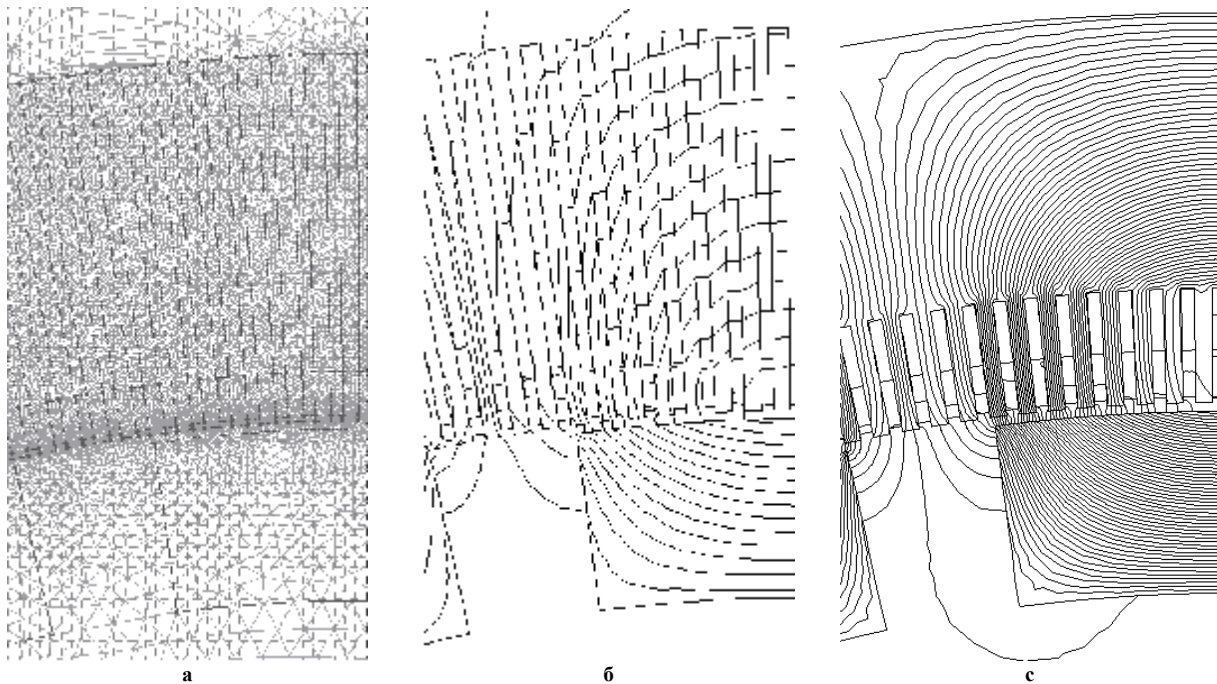


Рис. 4 – Распределение магнитного потока реакции якоря:
а- геометрия; б – МПТИТ; в – МПТ с общим ярмом

Задача рассматривалась как магнитостатическая. В этом случае для напряженности магнитного поля H , магнитной индукции B и плотности тока J справедливы соотношения

$$\nabla \cdot H = J, \quad (3)$$

$$\nabla \cdot B = 0, \quad (4)$$

к которым нужно добавить уравнение связи

$$B = m \cdot H, \quad (5)$$

где для нелинейного материала магнитная проницаемость μ является функцией B

$$\mu = \frac{B}{H(B)}, \quad (6)$$

Векторный потенциал A вводится как функция, удовлетворяющая уравнению

$$B = \nabla \cdot A, \quad (7)$$

При таком определении магнитная индукция B всегда удовлетворяет уравнению (4), а уравнение (3) с учетом (5) – (7) можно записать в виде

$$\nabla \cdot \left(\frac{1}{m} \cdot \nabla \cdot A \right) = J \quad (8)$$

Численный расчет магнитного поля сводится к нахождению распределения векторного потенциала A , которое удовлетворяет уравнениям (3)–(8). В общем случае A представляет собой трехкомпонентный вектор. Однако, если задача может рассматриваться как плоскопараллельная в плоскости x, y , то две из его компонент – A_x и A_y обращаются в нуль и остается только одна компонента A_z , направленная перпендикулярно плоскости x, y . При этом любые граничные условия также должны задаваться относительно векторного потенциала A . Для решения данной полевой задачи использовалась программа ELCUT версии 4.1., которая осуществляет расчет магнитного поля в плоскопараллельной области по уравнениям (3)–(8) методом конечных элементов.

На рис. 5 показаны кривые распределения индукции поля реакции якоря МПТИТ и МПТ с общим ярмом.

Эти кривые практически совпадают при двукратной перегрузке по току у МПТ с общим ярмом и пятикратной у МПТИТ (рис.6) .

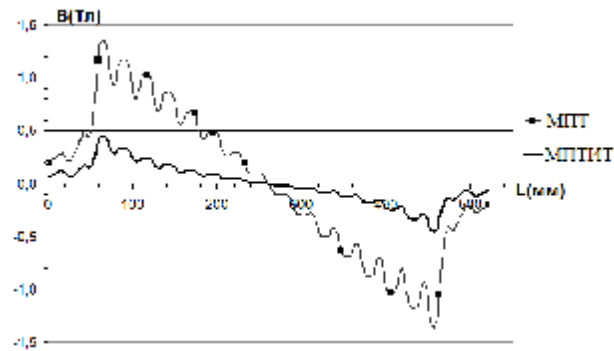


Рис. 5. Кривые распределения индукции поля реакции якоря МПТИТ и МПТ с общим ярмом

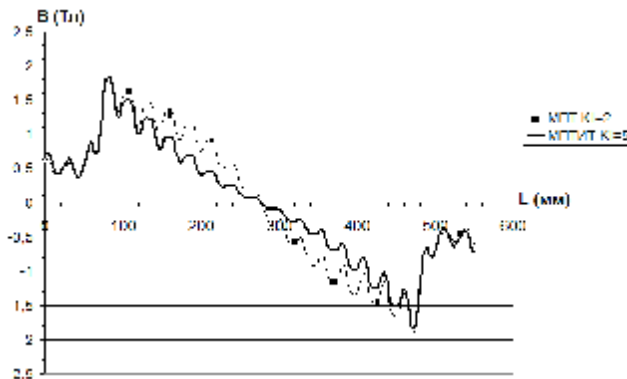


Рис. 6. Кривые распределения индукции поля реакции якоря МПТИТ и МПТ с общим ярмом при перегрузке по току

Выводы

Сравнительные расчеты МПТИТ и привода нереверсивного прокатного стана $P_n = 6000$ кВт, $U_n = 825$ В, $n_n = 200$ об/мин при сохранении неизменными значений электромагнитных нагрузок показали, что масса меди МПТИТ уменьшилась на 27%, а масса активных материалов – на 8%.

При уменьшении величины рабочего воздушного зазора в два раза масса меди МПТИТ уменьшилась на 35%, а масса активных материалов – на 10%.

Таким образом, данное конструктивное решение позволяет существенно удешевить машину постоянного тока, упростить ее изготовление, увеличить КПД. Использование МПТИТ в соответствующих промышленных механизмах позволит повысить их производительность, уменьшить потери энергии как в рабочем, так и в переходных режимах.

Литература

1. Находкин, М. Д. Проектирование тяговых электрических машин / Под ред. М. Д. Находкина. Москва.: Транспорт, 1976. – 624 с.
2. Патент України № 104943, Україна, МПК(2006.01) H02K29/06. Електрична машина бііндукторного типу. / О.А. Андрющенко, В.В. Булгар, А.О. Бойко, А.Д. Івлєв, Д.А. Івлєв, О.В. Яковлев, В.Д. Косенков. – а201211580, заявл.08.10.2012; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6.
3. Рабинович И. Н. Проектирование электрических машин постоянного тока / И. Н. Рабинович, И. Г. Шубов. – Ленинград: Энергия, 1967. – 504 с.

References

1. Nahodkin, M. D. Proektirovanie tzhagovyh jelektricheskikh mashin / Pod red. M. D. Nahodkina. Moskva.: Transport —1976. — 624 s.
2. Patent Ukrainy № 104943, Ukraine, MPK(2006.01) N02K29/06. Elektrychna mashyna biinduktornoho typu. / O.A. Andriushchenko, V.V. Bulhar, A.O. Boiko, A.D. Ivliev, D.A. Ivliev, O.V. Yakovlev, V.D. Kosenkov// – a201211580, zaivl.08.10.2012; opubl. 25.03.2014, Biul. № 6.
3. Rabinovich I. N. Proektirovanie jelektricheskikh mashin postojannogo toka./ I. N. Rabinovich, I. G. Shubov - Leningrad: Jenergija —1967 — 504 s.

Рецензія/Peer review : 14.5.2015 р.

Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БЛОКОВИХ ШИФРІВ

Запропоновано критерій ефективності для визначення стійкості блокових шифрів на основі статистичних характеристик шифрованого тексту. Приведено результати дослідження найбільш поширених лінійних шифрів за розробленим критерієм ефективності. Запропоновано варіант покращення стійкості блокових шифрів.

Ключові слова: блокові шифри, стійкість шифру, критерій ефективності.

А.О. IHNATOVYCH

Lviv Polytechnic National University

EFFICIENCY CRITERION FOR DETERMINATION OF BLOCK CIPHER STRENGTH

Abstract- This research work proposes efficiency criterion for determination of block cipher strength. The introduced criterion is based on statistical characteristics of ciphertext. The results of the research of the most common linear ciphers using the introduced efficiency criteria are shown. Method of improvement of characteristics of block ciphers is proposed.

Keywords: block ciphers, cipher strength, efficiency criterion

Вступ

Стійкість шифрів, як правило, оцінюють за критерієм, який визначає необхідні ресурси для встановлення типу шифру та ключа, а також дешифрації тексту. Деякі шифри дають велику кількість можливих варіантів ключів, в окремих випадках – мільйони і десятки мільйонів варіантів. Якщо раніше така кількість варіантів фактично означала безперспективність роботи з такими шифрами, то зараз, внаслідок динамічного розвитку інформаційних технологій, ситуація докорінно змінилася. На сьогоднішній день питання взлому шифру вирішується масованими брутальними атаками з використанням великої кількості технічних і людських ресурсів. Відомо, що в ряді країн світу сформовані спеціалізовані підрозділи, які мають можливість масованими атаками з погодженими діапазонами дослідних процедур розкривати шифри, які мають мільйони варіантів можливих ключів. Такі спеціалізовані підрозділи сформовані у КНР, РФ, США, Англії, Франції, Німеччині. Ще цілий ряд країн не афішують інформацію щодо існування таких структур, але, зрозуміло, що неможливе функціонування інформаційних комплексів, які використовуються у різних сферах життя суспільства, без забезпечення серйозного інформаційного захисту. Тому дослідження у галузі засобів безпеки комп'ютерних систем та мереж, їх ефективності є актуальною задачею.

Огляд літературних джерел

У літературних джерелах достатня увага приділяється ефективності методів та алгоритмів шифрування інформації [1-6]. Водночас, відсутній простий критерій ефективності оцінки стійкості блокових шифрів.

Постановка задачі дослідження

Дослідити можливість застосування простого критерію ефективності оцінки стійкості блокових шифрів.

Основні результати дослідження

Однією із характеристик стійкості блокових шифрів є частота використання символів у шифрованому повідомленні. Пропонується використовувати як критерій оцінки стійкості блокового шифру середнє інтегральне відхилення.

Визначити середнє інтегральне відхилення можна за допомогою наступної формули:

$$s = \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(x_{i\max} - x_i)}{x_{i\max}} \right] * 100\% \quad (1),$$

де $x_i, x_{i\max}$ – кількість i -х символів у шифрованому повідомленні та максимальне значення кількості символів відповідно; n – загальна кількість символів у алфавіті, що використовується у повідомленні.

Запропонований критерій ефективності інверсний. Що менше середнє інтегральне відхилення – то шифр ефективніший, то складніше знайти ключі і визначити тип блокового шифру.

Розглянемо особливості та результати застосування запропонованого критерію ефективності для деяких відомих шифрів і їх модифікацій. Досліджено та отримано результати, як змінився частотний аналіз зашифрованого тексту завдяки модифікації відкритого тексту (надалі – ВТ) перед шифруванням для всіх ступенів важливості інформації при застосуванні нового способу шифрування [7].

Середнє інтегральне відхилення шифрованого тексту (надалі – ШТ) методом Хілла без

“маскуючих” символів рівне 27,3% (рис. 1), а ШТ з “маскуючими” символами – рівне 19,6% (рис. 2). Отже, завдяки модифікації ВТ покращено стійкість у 1,4 рази для методу Хілла.

На усіх наведених рисунках по осі ординат вказана кількість i -х символів у шифрованому повідомленні, що використовувалося при дослідженнях, та їх процентне співвідношення.

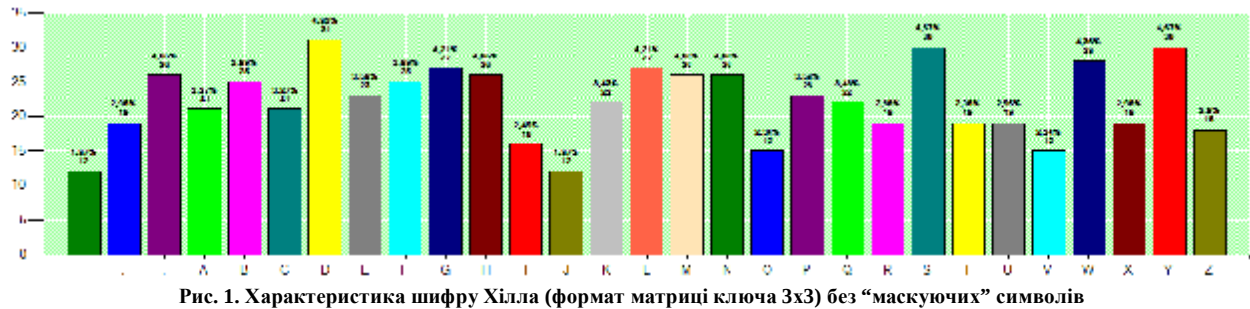


Рис. 1. Характеристика шифру Хілла (формат матриці ключа 3x3) без “маскуючих” символів

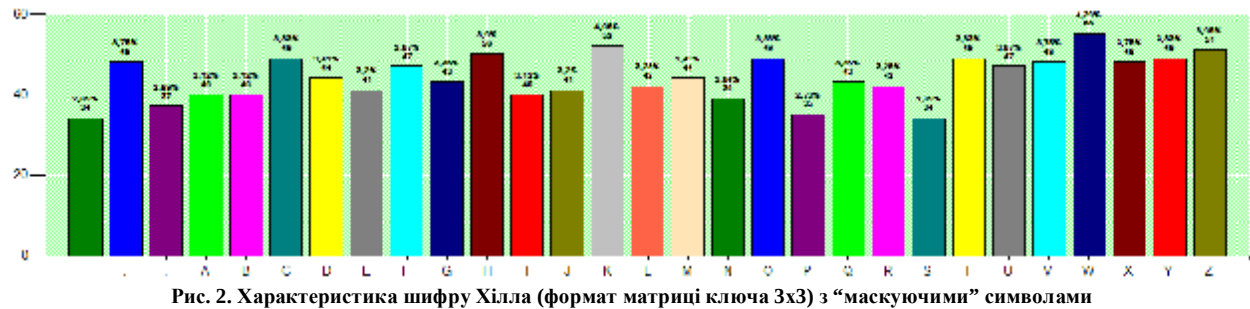


Рис. 2. Характеристика шифру Хілла (формат матриці ключа 3x3) з “маскуючими” символами

Середнє інтегральне відхилення ШТ методом Віженера без “маскуючи” символів рівне 57,3% (рис. 3), а ШТ з “маскуючими” символами рівне 41,2% (рис. 4). Отже, завдяки модифікації ВТ покращено стійкість у 1,4 рази для методу Віженера.

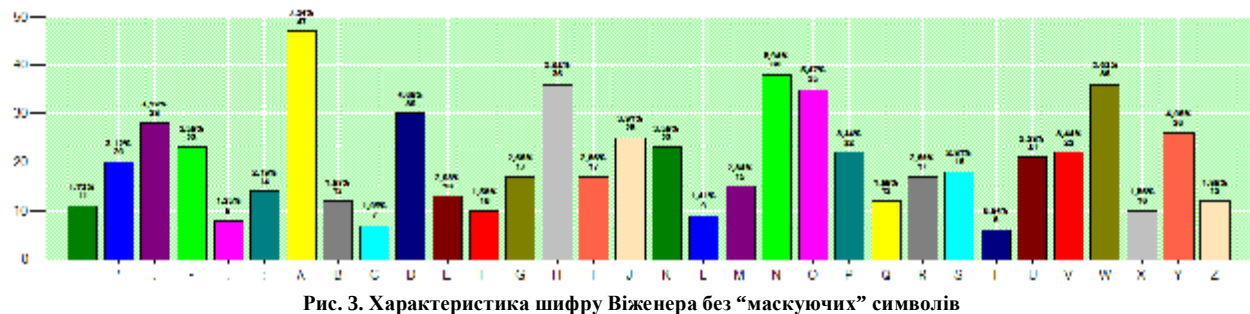


Рис. 3. Характеристика шифру Віженера без “маскуючих” символів

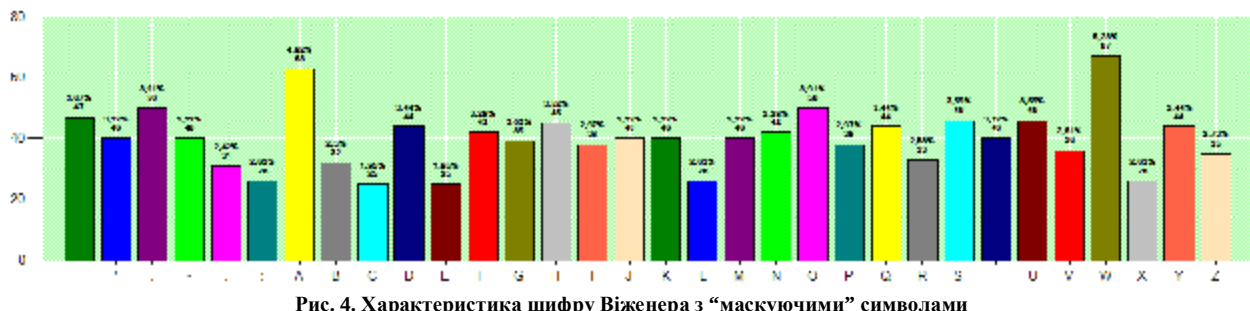


Рис. 4. Характеристика шифру Віженера з “маскуючими” символами

Середнє інтегральне відхилення ШТ методом Фейстеля без “маскуючи” символів рівне 68,2% (рис. 5), а ШТ з “маскуючими” символами рівне 58,9% (рис. 6). Отже, завдяки модифікації ВТ покращено стійкість у 1,2 рази для методу Фейстеля.

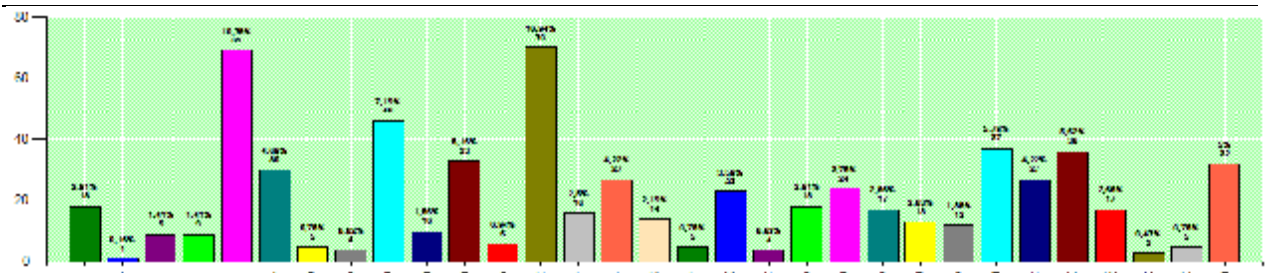


Рис. 5. Шифр Фейстеля без “маскуючих” символів

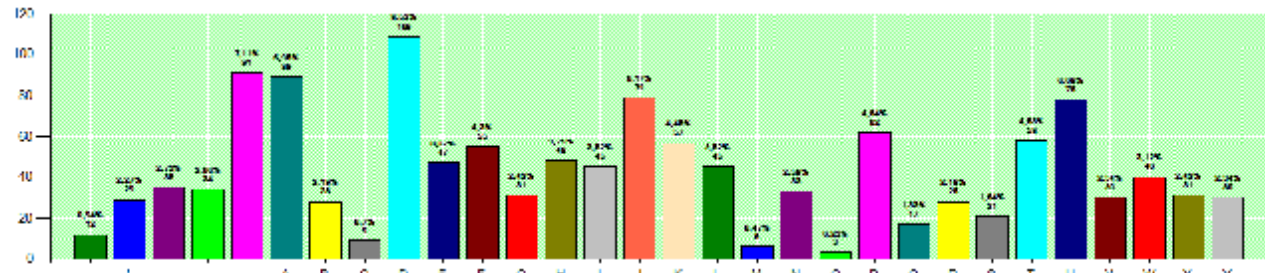


Рис. 6. Шифр Фейстеля з “маскуючими” символами

Середнє інтегральне відхилення ШТ методом Віженера + Фейстеля без “маскуючих” символів рівне 46,6% (рис. 7), а ШТ з “маскуючими” символами рівне 39% (рис. 8). Отже, завдяки модифікації ВТ покращено стійкість у 1,2 рази для методу Віженера + Фейстеля.

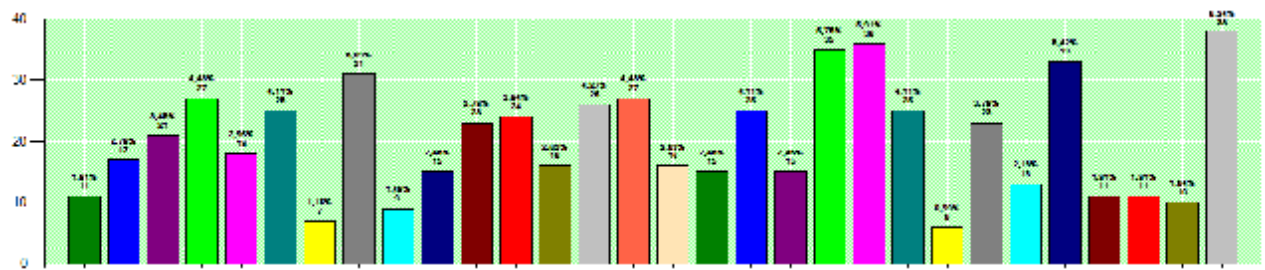


Рис. 7. Характеристика шифру Віженера + Фейстеля без “маскуючих” символів

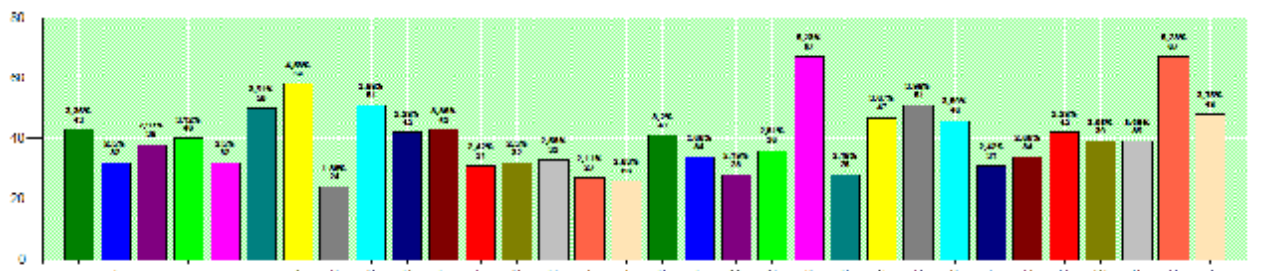


Рис. 8. Характеристика шифру Віженера + Фейстеля з “маскуючими” символами

Середнє інтегральне відхилення ШТ методом Хілла + Фейстеля без “маскуючих” символів рівне 40,8% (рис. 9), а ШТ з “маскуючими” символами рівне 17,6% (рис. 10). Отже, завдяки модифікації ВТ покращено стійкість у 2,3 рази для методу Хілла + Фейстеля.

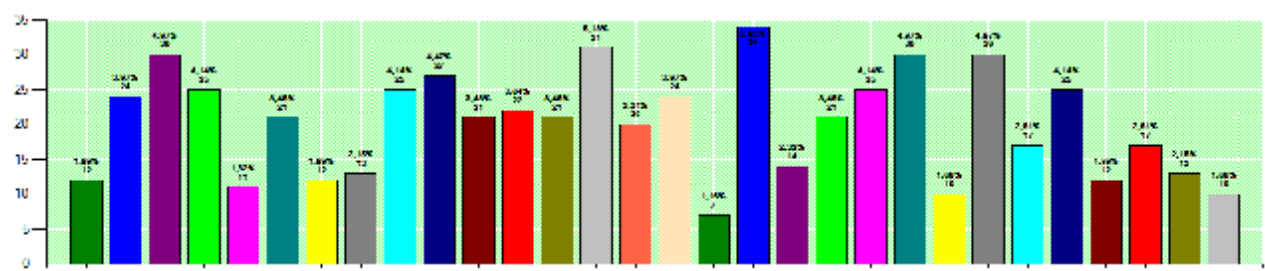


Рис. 9. Характеристика шифру Хілла + Фейстеля без “маскуючих” символів

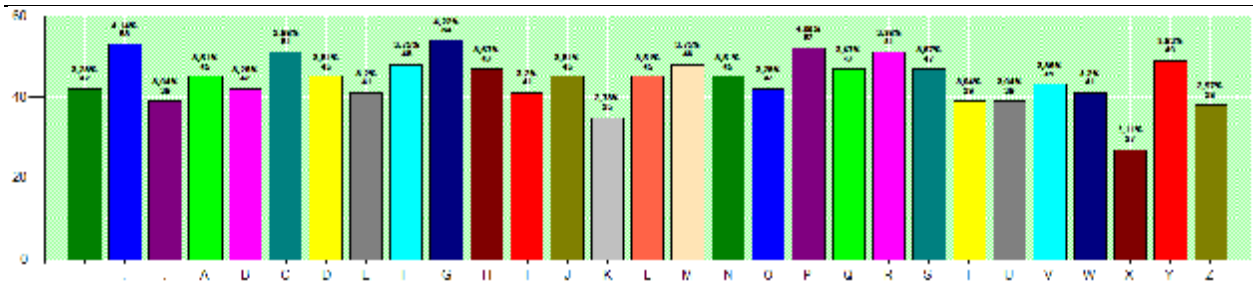


Рис.10. Характеристика шифру Хілла + Фейстеля з “маскуючими” символами

Модифікування ВТ для методів з використанням шифру Фейстеля не показує великої переваги. Але розшифрування ШТ методом Фейстеля, не маючи ключа, передбачає перебір всіх можливих варіантів ключа. Тому, навіть якщо і зловмисники переберуть всі можливі варіанти ключа, усе одно не отримають читабельний текст, оскільки відбувалася модифікація ВТ перед шифруванням.

Вважаємо достатнім для ефективної зміни частотних характеристик забезпечити зменшення середнього інтегрального відхилення в 1,15-1,2 рази. Ця величина визначається тим, що 15-20% зміни статистичних характеристик дезавує ті особливості ШТ, які допомагають визначити тип шифру, повторення в ШТ, які дозволяють визначити довжину ключа.

Нові комп'ютерні шифри можна будувати на комбінації шифрів і використанні маскуючих символів. Такі методи суттєво підвищують ефективність і надійність шифрування інформації.

Висновки

Запропонований критерій ефективності визначення стійкості блокових шифрів на основі статистичних характеристик шифрованого тексту дозволяє виконати кількісні оцінки ефективності, в тому числі внесених змін, які реалізують різноманітні заходи шифрування.

Дослідження показали, що використання нових підходів шифрування дає можливість деформації статистичних характеристик шифрованих текстів, яка суттєво ускладнює визначення типу шифру та знаходження для нього ключа на основі частотного аналізу символів та повторюваності блоків у зашифрованому тексті.

Література

1. Fred Cohen . A Short History of Cryptography // Introductory Information Protection. — 1987. — ISBN 1-878109-05-7.
2. W. Stallings. Cryptography and network security. Principles and practice / William Stallings. — Pearson. — 2011. — 744 p.
3. Lester S. Hill . Cryptography in an Algebraic Alphabet». «The American Mathematical Monthly». — 1929.
4. U.S. Patent 1 845 947. Лестер С. Хилл. Пристрій для шифрування. 1929.
5. Ємець В. Сучасна криптографія: основні поняття / В. Ємець, А. Мельник, Р. Попович. — Львів: БАК, 2003. — 144 с.
6. Вербицький О.В. Вступ до криптології / О.В. Вербицький. — Львів: Вид-во науково-технічної літератури, 1998. — 248 с. — ISBN 966-7148-03-3.
7. Патент України на корисну модель № 99073, G 09C 1/00. Спосіб шифрування інформації / Ігнатів А.О., Іванців В. Р., Іванців Р-А. Д., Павич Н. Я. — u 201500619 ; заявл. 26.01.2015 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.

References

1. Fred Cohen . A Short History of Cryptography // Introductory Information Protection. — 1987. — ISBN 1-878109-05-7.
2. W. Stallings. Cryptography and network security. Principles and practice / William Stallings. — Pearson. — 2011. — 744 p.
3. Lester S. Hill . Cryptography in an Algebraic Alphabet». «The American Mathematical Monthly».- 1929.
4. U.S. Patent 1 845 947. Lester S. Khyll. Prystriy dlya shyfruvannya. 1929. [in Russian]
5. Yemets' V. Suchasna kryptohrafiya: osnovni ponyattya / V. Yemets', A. Mel'nyk, R. Popovych. — Lviv: BAK. — 2003. — c. 144 [in Ukrainian]
6. Verbyts'kyy O.V. Vstup do kryptolohiyi // Vydavnytstvo naukovo-tekhnichnoyi literatury. Lviv, 1998. ISBN 966-7148-03-3. [in Ukrainian]
7. Ihnatovych A.O., Ivantsiv V. R., Ivantsiv R-A. D., Pavych N.Y. Sposib shyfruvannya informatsiyi. Patent Ukrayiny na korysnu model' #99073. Byul. #9 vid 12.05.2015. [in Ukrainian]

Рецензія/Peer review : 8.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Наконечний А.Й.

АНАЛІЗ І ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В роботі розглядаються методи синхронізації телекомунікаційних систем. Акцентується увага на необхідність правильної побудови апаратури синхронізації. Пропонується ряд технічних рішень на основі зовнішніх джерел еталонних сигналів, в якості яких пропонується використовувати радіочастотні методи синхронізації та методи синхронізації на основі супутникових навігаційних систем.

Ключові слова: мережа, синхронізація, стабільність, еталон частоти, еталон часу.

V.R. LIUBCHYK, V.I. STETSYUK, I.V. FAYFURA

Khmelnitsky National University

ANALYSIS AND IMPROVEMENT METHOD SYNCHRONIZATION TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Considers methods of synchronization of telecommunication systems. Focuses attention the need be built correctly synchronizations facilities. Proposed a number of technical solutions based on external sources of reference signals, as are the methods proposed to use frequency synchronization and synchronization methods based on satellite navigation systems.

Keywords: network, synchronization, stability, standard frequency, standard time.

Вступ

Будь-яка цифрова телекомунікаційна мережа, у якій спільно працюють системи передачі та комутації інформаційних потоків, повинна мати для забезпечення надійності та якості свого функціонування систему тактової мережної синхронізації (ТМС). До таких мереж відносяться мережі синхронної цифрової ієрархії (SDH) та плезіохронної цифрової ієрархії (PDH). Система ТМС здійснює узгодження шкал часу і частоти всіх пристроїв мережі, щоб уникнути або звести до мінімуму помилки асинхронізму (джитер, вандер, стафінг, “ковзання” цифрового сигналу, тощо). Без вирішення проблеми синхронізації не можна побудувати систему з гарантованою високою якістю зв'язку. Забезпечення тактової синхронізації телекомунікаційної мережі при підтримці як можна більш високої стабільності еталонних тактових частот є принципово необхідним. Одне з найбільш складних завдань при проектуванні мереж ТМС – вибір способу одержання сигналів синхронізації та їх розподіл всередині цифрової мережі для забезпечення надійною синхронізацією всього цифрового обладнання. Таким чином, актуальність даного питання очевидна, причому вона не знімається в процесі розвитку, модернізації та вдосконалення мережних технологій, а навпаки загострюється.

Програмно-апаратні методи покращення синхронізації телекомунікаційних систем і мереж

Більшість телекомунікаційних цифрових систем, що використовують когерентну модуляцію, вимагають усі три рівні синхронізації: фазову, тактову (символьну) і циклову (кадрову). Системи цифрового зв'язку з некогерентною модуляцією зазвичай вимагають тільки тактової (символьної) і циклової (кадрової) синхронізації, оскільки модуляція є некогерентною, точної синхронізації фази не потрібно. Крім того, некогерентним системам необхідна частотна синхронізація. Частотна синхронізація відрізняється від фазової тим, що копія носійного коливання, яке генерується приймачем, може мати довільний зсув фази від прийнятої носійної. Мережна синхронізація є одним із видів синхронізації, необхідної для підтримки безперервності передачі інформації в цифровій мережі, що містить різні системи передачі та комутації, які розташовані в різних місцях телекомунікаційної мережі. Найбільш загальною є система тактової мережної синхронізації, яка забезпечує когерентність коливачів генераторів тактової частоти на безлічі вузлів цифрової мережі зв'язку. Система ТМС є сукупністю ведучих і ведених генераторів та каналів синхронізації, які створюють мережу тактової синхронізації.

Рекомендації ITU-T G.803 [1] описує наступні режими цифрових мереж за синхронізацією:

1) *синхронний* режим (SDH, Synchronous Digital Hierarchy), при якому ковзання практично відсутні та мають випадковий характер. Це режим роботи мереж із примусовою синхронізацією, коли всі елементи мережі одержують тактову частоту від одного еталонного генератора.

2) *псевдосинхронний* режим застосовується там, де застосування синхронного режиму пов'язане з технічними або організаційними труднощами. Цей режим має місце на стиках мереж із синхронними режимами роботи. Характеризується використанням еталонних генераторів із добовою нестабільністю не більше 10^{-11} (згідно G.811); допускається одне ковзання за 70 діб;

3) *плезіохронний* режим (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy) – означає “майже синхронний” і характеризується внутрішньою синхронізацією вузлів від власних джерел з номінально співпадаючими частотами та відсутністю синхронізації комутаторів. Цей режим роботи найбільш простий для реалізації, оскільки дозволяє уникнути розподілу тактових імпульсів по всій мережі. В мережах SDH даний режим може існувати тимчасово при втраті елементом мережі зовнішньої примусової синхронізації або при відмові основних (резервних) еталонних генераторів. Характеризується відносною помилкою встановлення

номінальної частоти в синхросигналі не більше, ніж 10^{-9} (1 ковзання за 17 годин);

4) *асинхронний* режим характеризується повною відсутністю синхронізації. Існував на початковій стадії розвитку телекомунікаційних систем. Сьогодні практично не застосовується в цифрових мережах. Являється аварійним для системи ТМС, при побудові яких необхідно виключити можливість виникнення такого режиму. Відносна нестабільність частоти складає 10^{-5} (1 ковзання за 7 секунд).

При побудові мереж передачі даних використовуються генератори трьох рівнів точності і стабільності: Stratum 1, Stratum 2 (2E) і Stratum 3 (3E) [2].

Рівень *Stratum 1* – найвищий. Гарантована точність – не нижче $\pm 1 \cdot 10^{-11}$. Досягнути такого рівня можна, використовуючи квантові стандарти частоти (наприклад, рубідієві) або спеціальні частото задаючі засоби, які будуть розглянуті нижче. При побудові телекомунікаційних мереж використання такого рівня синхронізації оправдане тільки на рівні первинного еталонного генератора (ПЕГ) через високу вартість і технічну складність обладнання.

Рівень *Stratum 2* – більш низький, він гарантує точність не нижче $\pm 1 \cdot 10^{-8}$, якої можна досягнути використовуючи термостатовані кварцові генератори ОСХО, ДОСХО. Дані пристрої мають помірну вартість, велику номенклатуру і широко використовуються в якості опорних генераторів та пристроїв хронуння. В ієрархії телекомунікаційних мереж рівень Stratum 2 відповідає вторинним задаючим генераторам (ВЗГ).

Рівень *Stratum 3* гарантує точність не нижче $\pm 4,6 \cdot 10^{-6}$. Із запасом забезпечується термокомпенсованими аналоговими кварцовими генераторами (КГ). Подібні пристрої не дорогі, також мають широку номенклатуру. В мережі синхронізації рівень Stratum 3 відповідає генераторам мережних елементів (ГМЕ).

Сучасні мережі характеризуються трьома топологіями побудови систем синхронізації [1, 2]:

- ієрархічна, від головного генератора або система “ведучий-ведений”;
- система взаємної синхронізації генераторів;
- змішана синхронізації.

На практиці побудова конкретної телекомунікаційної мережі здійснюється згідно обраної технології (PDH, SDH, ATM, тощо), топології та ряду об’єктивних і суб’єктивних параметрів. Але неминуче питання вибору засобів і методів синхронізації складових мережі. Причому, яка б не була обрана схема побудови мережі (ієрархічна, взаємна або змішана), наряду із внутрішньою синхронізацією, необхідно передбачити можливість надходження сигналів синхронізації від зовнішнього більш стабільного (еталонного) джерела. Такими зовнішніми джерелами можуть бути: радіочастотні методи синхронізації, методи синхронізації на основі супутникових навігаційних систем та програмні засоби синхронізації.

Еталонні сигнали часу і частоти (ЕСЧЧ) є засобом передачі розмірів одиниць і шкал часу та являють собою несучі коливання, модульовані за амплітудою, фазою або частотою сигналами, що містять часові мітки шкали часу, а також інформацію про поточні значення часу, дати та іншої додаткової інформації. ЕСЧЧ призначені для передачі розмірів одиниць часу, частоти і шкали координованого часу UTC від державного первинного еталону до еталонних і робочих засобів вимірів з метою забезпечення єдності вимірів часу і частоти в країні. Для передачі еталонних сигналів Державними службами часу, частоти і визначення параметрів обертання Землі використовується розгалужена мережа засобів передачі:

- ДХ спеціалізовані радіостанції (наприклад RBU і RTZ);
- КХ спеціалізовані радіостанції (наприклад RWM);
- космічна навігаційна система ГЛОНАСС / GPS / Galileo;
- засоби передачі ЕСЧЧ разом із сигналами телебачення;
- засоби передачі точного часу через глобальну мережу Інтернет.

Особливе значення мають радіостанції спеціального призначення, деякі із них представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Еталонні сигнали часу і частоти

Назва радіостанції	Частота носійного коливання, кГц	Випромінювана потужність, кВт	Форма сигналів та спосіб їх передачі	Похибка за частотою і часом
RBU	66 2/3	10	DXXXW Безперервно	$2 \cdot 10^{-12}$; 10 мкс
RTZ	50	10	NON, A1X, A1N, Безперервно	$5 \cdot 10^{-12}$; 20 мкс
RWM	4996 9996 14996	20 20 20	A1X, A1N, NON, Безперервно	$5 \cdot 10^{-11}$; 20 мкс
RID	5004 10004 15004	5 5 5	A1X, A1N, NON, Безперервно	$5 \cdot 10^{-11}$; 20 мкс

NON – немодульовані несучі коливання; A1 – випромінювання з АМ несучих коливань квантованими сигналами без застосування модулюючих підносійних коливань; A2 – випромінювання з АМ несучих коливань квантованими сигналами із застосуванням підносійних коливань; A1N (A2N) – випромінювання типу A1 (A2), що не містить інформації змінного характеру; A1X (A2X) – випромінювання типу A1 (A2), що містить інформацію нестандартного виду; DXXXW – випромінювання при якому несучі коливання модулюються в певній послідовності за амплітудою і фазою складним сигналом шляхом комбінації частотного і часового ущільнення.

Найбільш відомі радіонавігаційні мережі наземного базування, що працюють на частотах 50 кГц, 66,6 кГц і 100 кГц, які доступні на території України. Сигнали вказаних радіомовних служб поширюються на відстані від 1000 до 50000 км і охоплюють величезні території, наприклад RBU і RWM – від 20-60° с. д. до 40-70° пн. ш., що більш ніж достатньо для України.

З таблиці видно, що похибка за частотою сигналів, переданих у ДХ діапазоні на частотах 66,(6) кГц і 50,0 кГц, становлять від $2 \cdot 10^{-12}$ до $5 \cdot 10^{-12}$ за добу, що навіть дещо вище, ніж у рубідієвого (Rb) стандарту частоти. Для порівняння нагадаємо, що відповідно до рек. G.811 МККТТ погрешність по частоті первинного еталонного генератора на цифровій мережі не повинна перевищувати $1 \cdot 10^{-11}$ за час від 7 діб і більше. Таким чином, характеристики ЕСЧЧ перевищують дані вимоги і цілком можуть бути використані як джерело синхронізації, навіть із огляду на той факт, що на приймальній стороні точність частоти може бути знижена на порядок (гірший варіант).

На основі запропонованого методу синхронізації із застосуванням сигналів ЕСЧЧ і досвіду його реалізації, пропонується схема синхрокомплекту для сумісної роботи із телекомунікаційним обладнанням (рис. 1). Як бачимо, дана реалізація досить проста, а значить і максимально дешева, як і сам приймач еталонних сигналів.

Радіосигнал з антени виділяється, підсилюється приймачем і надходить на систему АПЧ, на другий вхід якої також приходить сигнал 66,6 кГц, який формується від внутрішнього кварцового генератора (КГ). Сигнал із системи АПЧ використовується для керування частотою кварцового генератора. Формувач вихідних сигналів здійснює формування синхро-последовностей 10 МГц, 5 МГц, 2,048 МГц, 1 МГц і 1 Гц. Таким чином, запропонований метод синхронізації на основі еталонних сигналів часу і частоти, що передаються постійно і безкоштовно дозволяє засинхронізувати телекомунікаційне обладнання на рівні рубідієвого стандарту частоти. Серед недоліків даного методу синхронізації слід відмітити неможливість використання повнодіапазонних антен та великий рівень індустриальних завад у всьому діапазоні. Тому прийом рекомендується здійснювати на магнітну антену.

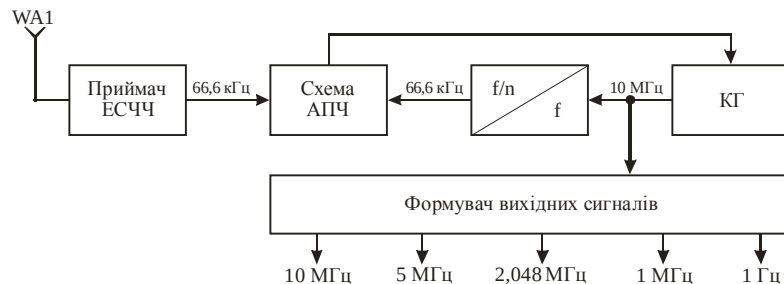


Рис. 1. Структурна схема запропонованого синхрокомплекту на основі сигналів ЕСЧЧ: ЕСЧЧ – еталонні сигнали часу і частоти; АПЧ – автоматичне підлаштування частоти; КГ – кварцовий генератор

Досить перспективним на сьогодні являється метод використання сигналів супутникових навігаційних систем (СНС) – GPS, ГЛОНАСС і GALILEO. Кожен навігаційний супутник обладнаний квантовим стандартом з відносною нестабільністю частоти $10 \cdot 10^{-11} \dots 10 \cdot 10^{-12}$ (Cs, Rb, Cs+Rb). Але наземні приймачі мають набагато гірші параметри стабільності – порядку $1 \cdot 10^{-9}$ і дозволяють здійснювати синхронізацію часу в точці прийому з точністю до 1-10 нс. Ця можливість реалізовується завдяки тому, що GPS приймач окрім NMEA даних передає сигнали 1PPS, які з наносекундною точністю (залежно від моделі GPS приймача) прив'язані до точного часу. Прив'язка до шкали координованого часу UTC здійснюється по передньому фронту імпульсу 1PPS (1 Гц). Тому використання даних сигналів для хронуння зв'язкових і телекомунікаційних систем являється перспективним. Так, наприклад, для роботи одночастотних мереж наземного цифрового телевізійного мовлення (мережі SFN) необхідна часова (1 імпл./с) і частотна (10 МГц) синхронізація. Вилучити і сформувати ці сигнали можна за допомогою GPS приймача і відповідного синхрокомплекту.

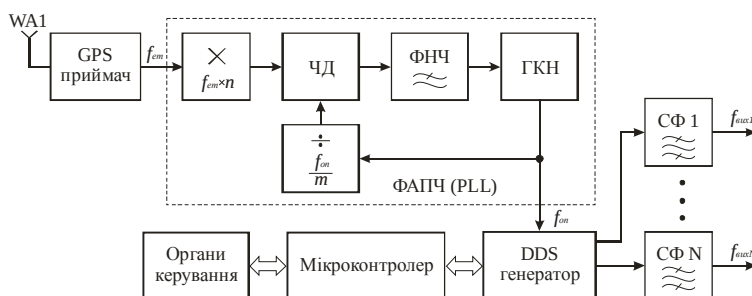


Рис. 2. Структурна схема синхрогенератора на основі DDS синтезу

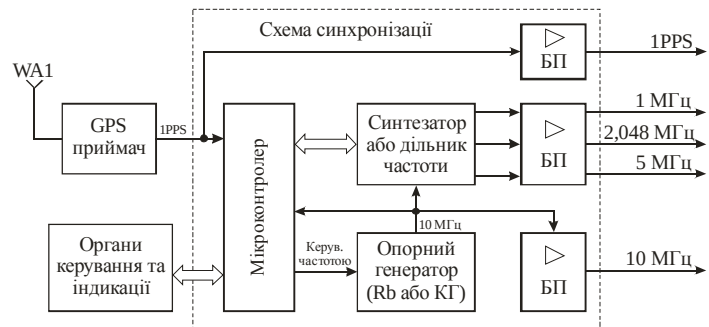
Використання сигналів навігаційних систем в якості еталонних може мати найрізноманітніший спектр. Найбільш очевидним варіантом такого застосування є DDS синтез, де в якості опорного генератора (в класичному варіанті кварцового) буде використовуватися комбінація GPS приймача і схеми ФАПЧ [3, 4]. GPS приймач виступає в ролі формувача еталонного сигналу (1PPS), на основі якого схема ФАПЧ формує високостабільний опорний сигнал для

DDS синтезатора. Останній може бути як одноканальним, так і багатоканальним (рис. 2). В якості частотозадаючого елемента у запропонованій структурі можна використовувати:

- DDS синтезатори (AD9851, AD9852, AD9854, AD9954, AD9956 та інш.);
- спеціалізовані мікросхеми для генерації тактових імпульсів (прецизійні формувачі серії AD95xx – джитер 263 фс (10^{-15}));

- генератори з вузькосмуговою ФАПЧ (IDT8T49N2031 – джитер 285 фс (10^{-15})).

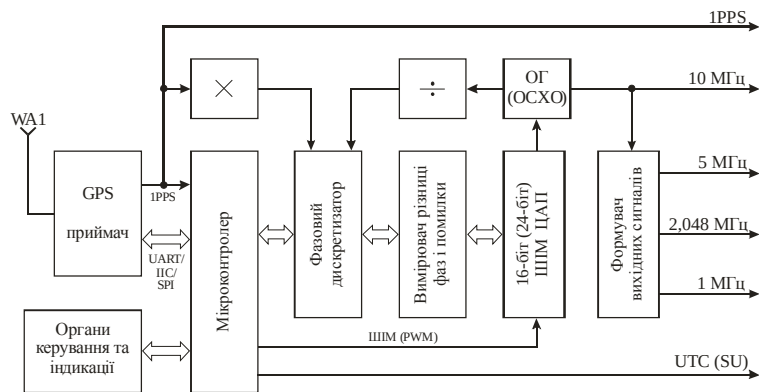
Принцип дії наступного запропонованого синхрокомплексу (рис. 3) оснований на безперервному порівнянні двох шкал часу, одна із яких визначається приймальним пристроєм супутникових навігаційних систем, а інша – формується із сигналу частотою 10 МГц, сформованого вбудованим рубідієвим (Rb) або термостабілізованим кварцовим (КГ) опорним генератором. Результати порівняння шкал часу використовуються для періодичного корегування частоти вбудованого опорного генератора. Сигнал із опорного генератора частотою 10 МГц надходить у мікроконтролер і синтезатор сигналів (подільник частоти) 5 МГц, 2,048 МГц і 1 МГц. Процесор формує шкалу часу генератора і постійно порівнює її зі шкалою часу UTC, використовуючи імпульси 1PPS із приймача GPS. Процесор здійснює статистичну обробку інформації про порівняння шкал часу, обчислює відносну різницю частот і формує код керування перелаштуванням синтезатора і сигнал керування частотою опорного генератора, тим самим здійснюючи його підстроювання за частотою 10 МГц. Сигнали 5 МГц, 2,048 МГц і 1 МГц являються найбільш вживаними в апаратурі синхронізації, тому їх формування необхідно передбачити при проектуванні. В даному випадку ряд необхідних частот забезпечує синтезатор, керований мікроконтролером. Всі вихідні сигнали виводяться назовні через відповідні буферні підсилювачі. Додатково передбачена можливість відтворення високостабільного імпульсного сигналу частотою 1 Гц (1PPS), прив'язаного до шкали часу супутникових навігаційних систем. Керування режимами роботи і поточну індикацію здійснюють відповідні органи.



БП – буферний підсилювач; Rb – рубідієвий генератор;
КГ – кварцовий генератор (ОСХО)

Рис. 3. Структурна схема синхрогенератора з рубідієвим стандартом

Окрім розглянутих аналогових методів побудови синхрокомплексу телекомунікаційних систем на



ШИМ (PWM) – широтно-імпульсна модуляція; UTC – всесвітня шкала координованого часу; ОГ – опорний кварцовий генератор (ОСХО)

Рис. 4. Структурна схема цифрового синхрогенератора

основі сигналів супутникової навігації, можна запропонувати і суто цифрову схему. Особливістю даної схеми є наявність кола цифрового ФАПЧ, організованого на основі мікроконтролера, фазового дискретизатора, вимірника різниці фаз і помилки, 16-біт або 24-біт ЦАП (за вимогою), керованого методом широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), опорного термостатованого кварцового генератора (ОСХО), дільника опорного сигналу 10 МГц та помножувача частоти сигналу 1 PPS.

За допомогою сигналів супутникових навігаційних систем можна синхронізувати персональні комп'ютери, локальні мережі,

технологічне обладнання, тощо. Так як в даному випадку використовується часова синхронізація, а не частотна, то для забезпечення синхронізму всіх складових мережі достатньо самого протоколу NMEA 0183 [1]. Структурна схема даного пристрою синхронізації представлена на рис. 5. Всі GPS приймачі обладнані протоколом обміну інформацією з периферійними пристроями UART. Більш дорогі моделі мають паралельно додаткові інтерфейси – I²C, SPI та USB. Для стикування з ПЕОМ найзручніше використовувати UART. Обмін інформацією здійснюється за протоколом NMEA 0183 (текстовий протокол зв'язку для навігаційного обладнання), який містить найрізноманітнішу інформацію, серед якої: координати місця розташування, висоту над рівнем моря, швидкість пересування і саме основне – точну дату і час, прив'язані до всесвітньої шкали координованого часу UTC. Далі це повідомлення розшифровує мікроконтролер, виводить дані на екран контрольного монітора і формує відповідні синхросигнали на одному із своїх інтерфейсів (за вимогою – RS-232, RS-422, RS-485). Якщо необхідно обслуговувати *n*-ну кількість периферійних пристроїв (технологічного обладнання), необхідно

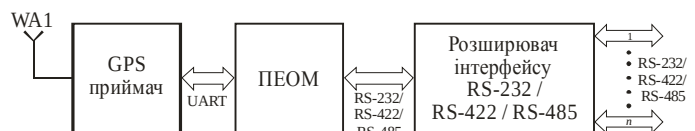


Рис. 5. Структурна схема пристрою синхронізації за протоколом NMEA 0183

встановити розширювач відповідного інтерфейсу (RS-232 / RS-422 / RS-485).

Ще одне із запропонованих застосувань сигналів супутникової навігації – синхронізація

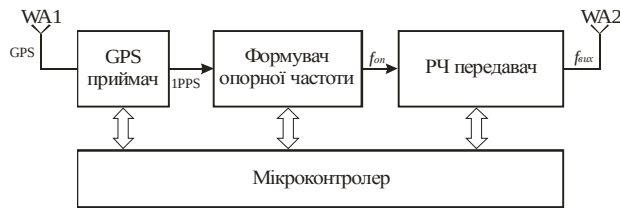


Рис. 6. Структурна схема пристрою синхронізації бездротових систем з використанням мікроконтролера

бездротових систем зв'язку і моніторингу (рис. 6). За допомогою даної схеми можна синхронізувати віддалені об'єкти та пристрої, а також технологічне обладнання в мобільному режимі. Так, наприклад для роботи в діапазонах ISM та GSM в якості радіочастотного передавача можна використати однокристальні пристрої типу TRF4900 і TH722032 з робочою смугою частот – 850-950 МГц. Даний принцип синхронізації може бути реалізований в будь-якому радіочастотному діапазоні – 433 МГц

(ADF7021-N – 80-650 МГц), FM 88-108 МГц (NJM2206), тощо.

Логічним доповненням ряду реалізацій можуть бути комбіновані методи синхронізації телекомунікаційних систем (рис. 7), які будуть містити як приймач ЕСЧЧ, так і приймач GPS в якості джерел еталонних сигналів. Також обов'язкова наявність власного високостабільного термостатованого кварцового генератора (ОСХО), який працює постійно, засинхронізовуючись від одного із джерел за протоколом пріоритету. При нормальному прийомі усіх сигналів, перевага повинна віддаватися сигналам ЕСЧЧ. При цьому перемикач SA1 замкнений і еталонні сигнали ЕСЧЧ надходять на вхід підлаштування внутрішнього КГ. Якщо з якої-небудь причини сигнали ЕСЧЧ будуть відсутні або прийом їх стане неможливим, перемикач SA1 розмикається, а SA2 замикається надаючи еталонний сигнал нижчого пріоритету (з приймача GPS). При відсутності обох зовнішніх еталонних сигналів, власний КГ виробляє опорний сигнал і синхрокомплект в цілому залишається працездатним, підтримуючи стабільність сигналів синхронізації на максимально можливому для нього рівні. Зрозуміло, що час самостійної роботи необхідно мінімізувати. Але слід сказати, що вірогідність відсутності обох сигналів надзвичайно низька. Крім того, можна передбачити алгоритм самонавчання, а також наявність відповідних сигналів сигналізації стану.

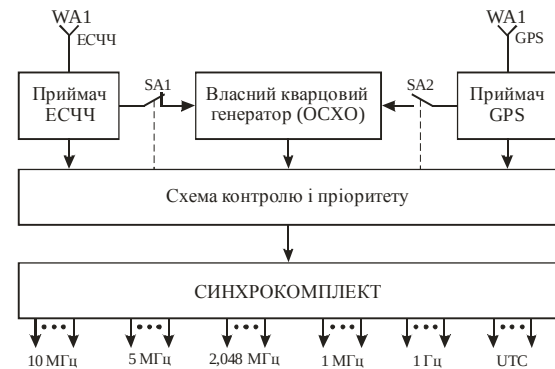


Рис. 7. Комбінований синхрокомплект

Запропонований у роботі метод синхронізації із використанням сигналів супутникових навігаційних систем дозволяє порівняно просто і дешево забезпечити часову і частотну синхронізацію телекомунікаційного обладнання із стабільністю $1 \cdot 10^{-9}$, що перевищує рівень Stratum 2 на порядок. Зрозуміло, що це набагато гірше, ніж ЕСЧЧ ($1 \cdot 10^{-12}$), але сигнали навігаційних систем присутні постійно в будь-якій точці земної кулі, поширюються безкоштовно, а апаратура має мініатюрне виконання, включаючи антенне обладнання.

Маючи доступ до глобальної мережі Internet можна синхронізуватися за протоколом NTP (Network Time Protocol), наприклад, з pool.ntp.org. Це величезний кластер серверів точного часу, що надає надійний і простий у використанні сервіс для мільйонів клієнтів. NTP – мережний протокол для синхронізації внутрішнього часу комп'ютера з використанням мереж зі змінною латентністю. Він використовує алгоритм Марзулло, включаючи таку особливість, як врахування часу передачі. У версії 4 здатний досягати точності 10 мс ($1/100$ с) при роботі через мережу Internet і до 0,2 мс ($1/5000$ с) та краще всередині локальних мереж. Як і описані вище генератори трьох рівнів точності і стабільності, сервери також бувають Stratum 1, Stratum 2 і Stratum 3.

Stratum 1 – одержують точний час безпосередньо від джерела точного часу: атомних годинників (наприклад time-a.nist.gov, точність – 10^{-12}) або GPS приймача (ntp.x.imvp.ru точність – 10^{-9}). Є сервери, які отримують точний час через стільникову мережу CDMA (10^{-6}). Простим користувачам звертатися до Stratum 1 серверів строго заборонено (точніше публічного доступу взагалі немає), тому що навантаження на них і так дуже велике.

Stratum 2 – одержують точний час від Stratum 1 серверів. При правильному налаштуванні та виборі серверів-джерел точного часу мають погрішність менше 1 мс ($\pm 1 \cdot 10^{-3}$). Підключатися зазвичай можна всім, але багато серверів регулярно “падають” від навантаження (наприклад time.windows.com). Вказаний вище www.pool.ntp.org підтримує round-robin списки публічних Stratum 2 NTP серверів. У такий спосіб забезпечується балансування навантаження і вони практично завжди доступні.

Stratum 3 – одержують час від Stratum 2 серверів, тому великої точності ці сервери не забезпечують. Але при великій кількості серверів, мільйонам користувачів забезпечується придатна для побутового використання синхронізація.

Із всього вище сказаного очевидно, що використовувати глобальну мережу Internet для

синхронізації телекомунікаційного обладнання не можна. Слід також врахувати той факт, що мова йде про часову синхронізацію, тобто розбіжність шкал часу між конкретним сервером і UTC, але крім точних часових міток потрібно мати еталон частоти, який отримати з комп'ютера неможливо.

Висновки

У ході проведених досліджень підтверджена можливість використання еталонних сигналів часу і частоти (ЕСЧЧ) для побудови систем синхронізації телекомунікаційних мереж найвищого рівня з гарантованою точністю $\pm 1 \cdot 10^{-11}$. В роботі була розроблена схема синхрокомплекту на основі приймача ЕСЧЧ RBU 66,6(6) кГц. Запропонований метод синхронізації на основі еталонних сигналів часу і частоти, що передаються постійно і безкоштовно дозволяє засинхронізувати телекомунікаційне обладнання на рівні рубідієвого стандарту частоти. Даний метод синхронізації виявився найбільш дешевим і стабільним.

Розглянуто методи синхронізації на основі супутникових навігаційних систем (СНС) та розроблено ряд практичних рішень на рівні структурних схем різноманітних варіантів їх застосування. Запропонований у роботі метод синхронізації із використанням сигналів СНС дозволяє порівняно просто і дешево забезпечити часову і частотну синхронізацію телекомунікаційного обладнання із стабільністю $1 \cdot 10^{-9}$, що перевищує рівень Stratum 2 на порядок. Синхронізація цифрових пристроїв телекомунікаційних систем з використанням приймачів супутникових навігаційних систем дозволяє спростити структуру синхрокомплекту і скоротити витрати на синхронізацію мережного обладнання. Комплексування телекомунікаційних систем з навігаційною системою дозволяє:

- адаптивно змінювати параметри петель синхронізації та можливість виключення яких-небудь додаткових петель синхронізації;
- використати спрощені системи синхронізації;
- використати шкалу абсолютного часу для синхронної зміни основних параметрів радіосистеми (модуляції, кодування, шифрування, тощо);
- реалізацію синхронізації цифрових систем зв'язку за носійною частотою.

Крім того, при зв'язку з рухомими об'єктами приймач СНС видає дані про вектор швидкості об'єкта, що дозволяє врахувати в системі синхронізації ефект Доплера.

Стосовно програмних методів синхронізації зрозуміло, що використовувати їх для синхронізації телекомунікаційного обладнання не можна через низьку стабільність сигналів ($1 \cdot 10^{-3}$) та відсутність еталонних частот у явному вигляді.

Література

1. ITU-T Recommendation G.803. Telecommunication standardization sector of ITU. Series G: transmission systems and media, digital systems and networks. Digital transmission systems – Digital networks – General aspects. – Geneva, 2001. – 59 p.
2. IEEE 1588-2008, IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, July 2008. – PP. 1-269.
3. Стецюк В. І. Схемотехнічні особливості використання синтезаторів частот в приймальному тракту цифрових приймачів / В. І. Стецюк, Ю. М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2013. – № 5. – С. 219-231.
4. Стецюк В. І. Дослідження характеристик кварцових резонаторів за допомогою DDS синтезаторів. – Міжнародний науково-технічний журнал “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”. – Хмельницький, 2014. – № 1, – С. 69-71.

References

1. ITU-T Recommendation G.803. Telecommunication standardization sector of ITU. Series G: transmission systems and media, digital systems and networks. Digital transmission systems – Digital networks – General aspects. – Geneva, 2001. – 59 p.
2. IEEE 1588-2008, IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, July 2008. – PP. 1-269.
3. Stecyuk V. I. Shemotehni'chni osoblivosti vikoristannya sintezatoriv chastot v priymalnomu trakti cifrovih priymachiv / V. I. Stecyuk, U. M. Boyko // Vi'snik Hmel'nitskogo nacional'nogo universitetu. – Hmel'nickiy, 2013. – № 5. – S. 219-231.
4. Stecyuk V. I. Doslidjennya harakteristik kvarcovih rezonatoriv za dopomogoyu DDS sintezatori'v. – Mijnarodniy naukovotekhnichnij jurnal “Vimiryuvalna ta obchislyuvalna tehnika v tehnologichnih procesah”. – Hmel'nickiy, 2014. – № 1, – С. 69-71.

Рецензія/Peer review : 12.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.5.2015 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. РТЗ Бойко Ю. М.

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ САМООРГАНІЗУЮЧИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ГОЛОВНИХ ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК ШАХТ

Розглянуто методи побудови самоорганізуючих, багатоагентних систем управління електроспоживанням головних водовідливних установок шахт, в яких використані інтелектуальні датчики рівня витрат води, стану насосних агрегатів і електроспоживання. Багатоагентна система управління електроспоживання виконана у вигляді прогнозатора притоку води по кожному із горизонтів шахти і витрат електрики, дозволяє за допомогою інтелектуальної системи управління електроспоживанням ефективно керувати локальними системами автоматики насосних агрегатів по критерію мінімізації питомих електровитрат. Розроблено способи підвищення енергоефективності головних водовідливних установок шляхом включення в систему водовідливу додаткових насосів малої потужності з асинхронним частотно-регульованим приводом та пошуковими екстремальними системами керування.

Ключові слова: водовідлив, шахта, насос, оптимізація, самоорганізуюча, система, електроспоживання.

V.P. KHOROLSKYI, M.I. SHPANKO

National University of Kryvyi Rih, Ukraine

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEMS SELF-ORGANIZING POWER CONSUMPTION MAJOR MINE DEWATERING PLANTS

Abstract - The methods of construction of self-organizing, multi management systems power consumption of the main dewatering plants mines in which the intelligent level sensors cost water pump units and state power consumption are used. Multi-control system power consumption estimator is designed as a water intake for each of the horizons of the mine and the costs of electricity allows an intelligent power consumption management system to manage local systems of automation of pumping units on the criterion of minimizing of specific electric charges. The methods of increasing energy efficiency main pumping installations by including additional drainage system pumps with asynchronous low-power variable-speed drive and search engines extreme control systems.

Keywords: drainage, mine, pump optimization, self-organizing, system power consumption.

Вступ

Основні тенденції розвитку сучасних систем управління енергоспоживанням шахт і їх енергоємних стаціонарних установок – головних водовідливних установок (ГВУ) з інформаційними технологіями в багатьох випадках пов'язані з мінімізацією енергозатрат і є актуальними практично важливими задачами. Завдяки автоматизованому управлінню технологічними процесами водовідливу шахт при змінному притоку води, можливо заощадити від 8-11% питомих затрат електроенергії.

Аналіз літературних джерел з даної тематики. Проблеми управління стаціонарними установками шахт до яких відносяться водовідливні установки з точки зору наукових досліджень і практичної діяльності є актуальними тому, що затрати електроенергії на роботу яких складають 20% від електроспоживання шахти. Питанням підвищення ефективності головних водовідливних установок шахт (ГВУ), методами регулювання подачі насосів присвячені роботи В.М. Чермалиха, Д.І. Родькіна, В.В. Каневського [1], В.Г. Гейера, Г.М. Тимошенко [2], В.М. Попова [3] та інших вчених в яких обґрунтовано енергетичну ефективність регулювання подачі насосних агрегатів зміною частоти обертання робочих коліс.

Реалізація енергоефективного керування шахтними водовідливними установками засобами регульованого електроприводу насосних агрегатів знайшла відображення також в наукових працях [4, 5, 6] в яких детально розглянуті завдання управління водовідливними установками шахт по критерію енергозатрат. В той же час відсутні наукові дослідження щодо побудови самоорганізуючих систем управління стаціонарними установками на основі прогнозування притоку води в зумпфи горизонтів шахти як системи з розподіленими параметрами електроспоживання. Такі системи названі багатоагентними і віднесені до самоорганізуючих систем з прогнозуванням витрат електрики по кожному із горизонтів шахти і дозволяють підвищити енергоефективність роботи ГВУ за рахунок впровадження інтелектуальних систем управління.

Виклад основного матеріалу дослідження. Інженерний аналіз схем проектування багаторівневого водовідливу шахти «Гвардійська» та шахти ім.Леніна ПАТ «КРИББАСЗАЛІЗРУДКОМ» показав, що на горизонтах 1350 м встановлено систему насосів ЦНС 300-180 з електроприводом від асинхронних двигунів потужністю 315 кВт, $n=1480$ об/хв., які працюють на два стави $\varnothing$ 273 мм довжиною $L = 150 \div 160$ м з проектною потужністю $V_{\text{дрейф}} = 2000 \text{ м}^3$ і викачують воду із зумпфа розташованого в нижній частині шахтного ствола.

На горизонті 1200 м ш. ім.Леніна цього підприємства встановлено групу насосів типу ЦНС 300-180 – 4 шт., з електродвигунами 250 кВт $n=1480$ об/хв, які працюють на 2 стави $\varnothing$ 273 мм, $L = 150$ м і проектною потужністю $V_{\text{дрейф}} = 2063 \text{ м}^3$, а на шахті «Гвардійська» на горизонті 1190 м встановлено 4 насоси типу ЦНС 300-480 з електроприводом 500 кВт з $n= 1480$ об/хв., які працюють на 2 стави $\varnothing$ 315 мм і довжиною $L=400$ м.

На горизонті 1050 м шахти ім.Леніна розташована група із 4-х насосів ЦНС 300-600 і електродвигунами 800 кВт з $n = 1480$ об/хв., які працюють на один став $\varnothing 273$ мм, довжиною $L = 675$ м.

На горизонті 792 м шахти «Гвардійська» встановлена група насосів з різними потужностями: один ЦНС 300-420, з електроприводом $P=500$ кВт і $n = 1480$ об/хв; один ЦНС 300-420, з електроприводом $P=630$ кВт та $n = 1480$ об/хв.; два ЦНС 300-480, з електроприводом $P=630$ кВт та $n = 1480$ об/хв.

На горизонті 527 м шахти ім.Леніна встановлено 5 насосів типу ЦНС 300-600, з електроприводом $P=800$ кВт і $n=1480$ об/хв., які працюють на два стави $\varnothing 273$ мм і довжиною $L=530$ м.

На горизонті 472 м шахти «Гвардійська» встановлено п'ять насосів ЦНС 300-600 з електроприводом $P=800$ кВт і $n=1480$ об/хв., які працюють на два стави $\varnothing 315$ мм, довжиною $L=480$ м.

Загальною рисою цих проектних рішень є зміна структури управління насосними агрегатами, висока енергоємність водовідливу кожного із горизонтів (встановлена потужність складає від $P=945$ кВт до 4000 кВт) і різна довжина ставів, на які працюють насосні агрегати. При проектуванні системи електроспоживання таких стаціонарних установок, на які припадає до 20% загального споживання електрики підприємства, необхідно:

- аналітично описати робочі характеристики насосних агрегатів;
- розробити алгоритми та математичні моделі оцінки енергоефективності роботи головних водовідливних установок;
- зі застосуванням сучасних систем контролю електроспоживання активної, реактивної потужностей системи аудиту витрат електрики і роботи ГВУ необхідно розробити інтелектуальні системи автоматизованого управління ГВУ шахт та електроспоживання (ІСУЕ);
- спроектувати інформаційну систему робастного керування насосними агрегатами, яка підтримує мінімізацію питомих витрат електрики в періоди обмеження потужності енергосистеми.

На рис. 1 для умов ш. «Гвардійська» розроблена структура самоорганізуючої багатоагентної системи управління системи електроспоживанням головної водовідливної установки, яка має дворівневу багатоагентну архітектуру. В ній на кожному із горизонтів знаходяться інтелектуальні датчики (ІД) і агенти (А). Під інтелектуальним датчиком будемо розуміти нейромережвий елемент, який контролює і у реальному часі оцінює технологічні, електричні, температурні режими роботи насосних агрегатів (НА), асинхронних двигунів ($АД_1^1$), електричні потужності, струму, напругу електричної мережі, витрати, рівні води, її щільність, гідродинамічний опір; оцінює: ККД НА, напір та вакуум насосів, а також виконують розпізнавання аварійних режимів, оцінку стану заливки насосів та положення заслінки на нагнітальному трубопроводі тощо.

Агенти $A_1^H, A_2^H, A_3^H, A_4^H, A_5^H$, які встановлені на кожному із П- інтелектуальних датчиків горизонту ID_1^1 , де $i=1, 2, \dots, n$ датчиків, які віднесені до горизонту 1., оцінюють зміни рівня води в зумпах за період t_k та контролюють параметри водовідливу й режими роботи насосних агрегатів. Агенти $A_1^E, A_2^E, A_3^E, A_4^E, A_5^E$ контролюють параметри електроспоживання ГВУ по кожному із горизонтів за допомогою датчиків $ID_5^1, ID_4^2, ID_3^3, ID_2^4, ID_1^5$ тощо.

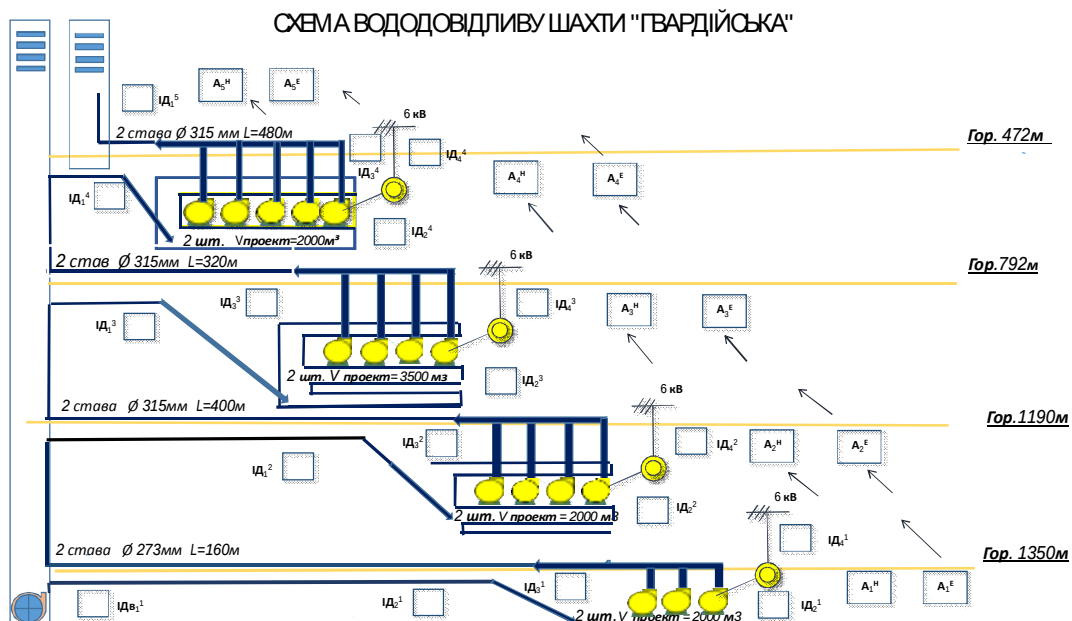


Рис. 1. Самоорганізаційна багатоагентна системи управління електроспоживанням головної водовідливної установки

Основна ідея управління ГВУ шахти є прогнозування витрат (притоку) води на одну годину вперед відповідно затрат електроенергії на її транспортування з горизонту 1350 м на горизонт 1200 м і т.п., оцінки стану виконання цього технологічного процесу за період t_k, t_{k-1}, t_{k-2} , електроспоживання НА по кожному із

горизонтів з пошуком кращих режимів електроспоживання у реальному масштабі часу. При побудові інтелектуальної системи управління ГВУ нами використані ідеї самоорганізуючої системи прогнозування повеней STAFF (Франція) [7, 8]. У нашому випадку використанні інтелектуальні датчики витрат води (датчики – агенти витрат води), які мають помилки, щодо визначення витрат (рівня) води. Агент, встановлений на датчику оцінює зміни рівня води $S_i(t)$ (i – індекс агента i -го датчика – витрат води), яке вимірюється датчиком. Він відповідає за обчислення ваги $\omega_i(t_{k-1})$, з яким величина $S_i(t_{k-1})$ у момент t_{k-1} буде врахована у функції прогнозу, який в свою чергу обчислюється агентом верхнього рівня A_j , $j=1, \dots, 4$, у поточний момент $t=t_{k-1}$ для прогнозування $F_j^{prog}(t_k)$ зміни рівня води на годину вперед, тобто на момент часу t_k :

$$F_j^{prog}(t_k) = \sum_{i: \omega_i > 0} \omega_i(t_{k-1}) S_i(t_{k-1}) \quad (1)$$

У цей же період ІСУЕ водовідливних установок оцінює витрати електрики i на годину вперед синхронно з прогнозом F_j^{prog} виконує передбачення на t_k щодо витрати електроенергії:

$$E_j^{prog}(t_k) = \sum_{i: \omega_i > 0} \omega_i(t_{k-1}) Q_B(t_{k-1}) \quad (2)$$

де Q_B – витрати води за період t_k на кожному із горизонтів шахти.

Будемо вважати, що якщо вага, приписана деякому датчику за поточний інтервал часу, має від'ємне значення, та його виміри в цей період помилкові, а тому не буде прийматись до уваги. Сумарний прогноз зміни рівня води за деякий інтервал часу $[t_q, t_k]$ обчислюється як сума прирощень рівня води на цьому інтервалу.

Самоорганізація на рівня агентів – датчиків полягає в уточненні вагів $\omega_i(t_k)$ і $\varepsilon_i(t_k)$, при чому необхідність такого уточнення детектується за допомогою агентів верхнього рівня ІСУЕ. Ця кооперація має за мету визначити, коли і як потрібно уточнювати вагові коефіцієнти, які присутні у формулах (1), (2). Для цього агент використовує результати власного вимірювання, аналогічно результату інших агентів, а також інформацію про помилки передбачення рівня води по кожному із горизонтів шахти, яку будемо одержувати за допомогою зворотного зв'язку. Момент запуску процесу самоорганізації в межах кожної водовідливної установки системи ІСУЕ визначається наступним чином:

1. Кожний агент A_j верхнього рівня у момент часу t_k має можливість оцінювати якість свого попереднього (вимірюваного за годину раніш) прогнозування зміни притоку води і зміни рівня у водозбірниках кожного із горизонтів $F_j^{prog}(t_k)$, використовуючи зворотний зв'язок у вигляді реального його значення, зафіксованого інтелектуальним датчиком витрат води (ІДВ) на цей період t_k . При цьому $E_j^{prog}(t_k)$ дає змогу оцінити ситуацію з електроспоживанням ГВУ шахти і відповідно продуктивність насосних агрегатів. Якщо реальний приток води по кожному із горизонтів в більше запланованих, то виконується корекція вагових коефіцієнтів $\omega_i(t_{k-1})$, а одержане нове значення ваги, дозволяє агенту A_j обчислити новий прогноз витрат (прирощення) рівня води на момент часу t_{k+1} .

2. Агент A_2 верхнього рівня, який виконує прогноз на той же момент часу t_{k+1} , порівнює свій прогноз з тим новим прогнозом, який одержаний агентом A_1 для моменту часу t_{k+1} . Якщо ця різниця по модулю більше заданого порогу, то агент A_2 запускає механізм самоорганізації на множині своїх агентів нижнього рівня. В подальшому ці процеси виконуються в циклі агентами A_3 і A_4 внутрішнім перетворювачами інформації в кожному із ІДВ, встановлених на ГВУ.

На рис. 1 цей процес кооперації між агентами верхнього рівня вказано стрілками. У підсумку всі агенти метарівня можуть бути задіяні в процесі самоорганізації. Пояснимо тепер сутність процесу самоорганізації, який виконується за допомогою самоорганізуючих багатоагентних систем (БАС) в ІСУЕ головних водовідливних установок на множині своїх агентів нижнього рівня. Нехай S_i є вимірювання i -го датчику витрат води, ω_i – поточна вага, з якою вимірюване значення подається на вхід датчика ІДВ_в верхнього рівня управління електроспоживанням ГВУ шахти. Відмітимо, що цей ваговий коефіцієнт не може бути від'ємним, а якщо у процесі обчислення значення ω_i стає від'ємним, то інформація обнуляється, тобто він стає рівним нулю (див. формулу (1)). У цьому випадку будемо вважати що відповідні виміри по тій чи іншій причині не зовсім адекватні ситуації. Нехай $\Delta\omega$ є модуль зміни ваги ω_i , який у подальшому може бути використаний на кожному кроці для його модифікації. Можливі зміни ваги ω_i по модулю за один крок є постійними для усіх сенсорів, а самі зміни можуть бути позитивними або від'ємними, або ця зміна дорівнює нулю.

Розглянемо деякі ситуації щодо роботи ІСУЕ ГВУ в умовах ПАТ «КРИВБАСЗАЛІЗРУДКОМ», коли необхідно модифікувати вагові коефіцієнти ω_i i -го датчика.

Ситуація 1. Якщо значення ω_i позитивно, а результат $S_i(t)$, одержаний інтелектуальним датчиком витрат води (ІДВ) не відповідає сигналу зворотного зв'язку (маємо від'ємну кореляцію з ним), то тоді $\Delta\omega$ від'ємне.

У цьому випадку $\omega_i = \omega_i - \Delta\omega$. Це має місце, наприклад, тоді коли в процесі вимірювання параметри датчика показують збільшення (зменшення) рівня води, а сигнал зворотного зв'язку свідчить про

його зменшення (збільшення). Як за правило, це характерно буває лише у випадку, коли система працює на початковій стадії. Відмітимо, що саме за рахунок виникнення некоректних ситуацій значення вагового коефіцієнту ω_i може стати від'ємним.

Ситуація 2. Якщо результат $S_i(t)$, зафіксований датчиком нижнього рівня, позитивно корельований зі сигналом зворотного зв'язку, але передбачення, зроблено відповідним ІДВ верхнього рівня раніш (для моменту часу t_k), вміщує помилку (сильно відрізняється від дійсного значення $F_j^{dijk}(t_k)$, одержаного у відповідності зі зворотним зв'язком), то тоді:

$$\omega_i := \omega_i + \text{sign}[F_j^{dijk}(t_k)]\Delta\omega, \quad (3)$$

При цьому вагові коефіцієнти усіх датчиків нижнього рівня змінюються однаково.

Ситуація 3. Якщо результат виміру $S_i(t)$, зафіксований датчиком ІДВ нижнього горизонту позитивно корелює із сигналом зворотного зв'язку, але значення ω_i в поточний момент від'ємне, то в формулі (3) вибирається позитивне значення $\Delta\omega$, тобто $\omega_i := \omega_i + \Delta\omega$. Експерименти, проведені на шахті «Гвардійська» ПАТ «КРИБАСЗАЛІЗРУДКОМ», показали, що модель прогнозування витрат води і електроенергії, може бути використана в системі управління головними водовідливними установками з автоматизованими системами електроприводу насосних агрегатів типу ЦНС-300-600, ЦНС-300-420, ЦНС-300-480. На підставі здійснених досліджень щодо енергоефективності систем управління ГВУ та для оптимізації роботи водовідливної установки (з метою забезпечення енергоефективного режиму роботи та мінімізації енергоспоживання) нами вибрані в якості керуючого впливу зміну обертів робочих коліс багатоступеневого центробіжного насосу при використанні у складі ГВУ одноколісних підкачувальних насосів. Останні обладнані низьковольтними асинхронними частотно-регульованими приводами зі застосуванням пошукової екстремальної системи управління частотного обертання приводного двигуна підкачуючого насосу.

Для визначення діапазонів регулювання, необхідних для досягнення мінімуму питомих енерговитрат, нами використані залежності [6]:

$$e^* = \frac{N_M(Q(n_2))}{N_M(Q(1))} \cdot \frac{N_2(Q(1))}{N_2(Q(n_2))}, \quad (4)$$

де e^* - залежність відносної величини питомих витрат електроенергії від відносної частоти обертання насосного агрегату.

Розрахунок економії електроенергії при впровадженні АЧРП підкачувального насосу з основним насосним агрегатом оцінювали за формулою [6]:

$$\Delta e = (1 - e_{MIN}^*) \cdot 100\%, \quad (5)$$

де e_{MIN}^* - відносні значення мінімуму питомих енерговитрат.

Екстремальні залежності питомих витрат від частоти обертання електроприводу підкачувального насосу та витрат води що контролюються датчиками ID_1^1 , ID_1^2 , ID_1^3 , ID_{14} , ID_1^5 і оцінюються самоорганізуючою системою управління електропостачанням дозволяють визначити робочу точку енергоефективного режиму роботи ГВУ в зоні мінімальних питомих енерговитрат, необхідний діапазон регулювання продуктивності насосних агрегатів та їх режимів роботи у поза піковий період часу включення водовідливної установки. При цьому забезпечується повне або часткове звільнення водозбірника від води до початку періоду максимуму навантаження на енергосистему і створюються умови для споживання електроенергії водовідливом в періоди поза пікових зон навантаження на систему електропостачання.

Результати імітаційного моделювання підтвердили зниження питомих витрат електрики електроприводом насосів ЦНС 300-600 з АЧРП підкачувального насосу на 8-11%.

Висновки

Розглянутий підхід забезпечує побудову самоорганізуючої системи управління електроспоживанням водовідливних установок шахт в яких за допомогою інтелектуальних датчиків притоку води, системи прогнозування витрат води та електроенергії, насосні агрегати працюють з підкачувальними насосами з екстремальними системами управління перетворювачами частоти та дозволяють одержати зниження на 8-11% питомих витрат електроенергії від проектних.

Література

1. Чермалых В.М., Системы электропривода и автоматики рудничных стационарных машин и установок/ В.М. Чермалых, Д.И. Родькин, В.В. Каневский //Недра 1976 Москва, 399 с.
2. Гейгер В.Г. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки: учебник для вузов / В.Г.Гейгер, Г.М.Тимошенко // - М.:Недра. 1978-270 с.
3. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки /В.М. Попов//– 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1983 -304с.
4. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием /Г.Г. Соколовский//– М.: «АКАДЕМА», 2006, с.27-32.
5. Христо П.Е. Оптимизация энергопотребления центробежной машиной в нестационарных

режимах в ограниченной области изменения переменных// Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит., №12 (131).2014. с.2-14.

6. Сташинов Ю.П. Технические и энергетические аспекты применения регулируемого привода на главных водоотливных установках шахт / Ю.П. Сташинов, Д.А. Боченков, В.В. Волков // Горное оборудование и электромеханика, - 2008. -№11.- с. 22-25.

7. George J.-P., Edmonds B., Glizes P. Making Self-Organizing Adaptive Multi-Agent System Work – towards engineering of emergent multi system // Methodologies and Software Engineering for Agent Systems. Chapter 8. Kluwer, 2004. P. 319-338.

8. George J.-P., Glizes M.-P., Glizes P. Real-time Simulation for Flood forecast^ An Adaptive Multi-Agent Systems / University of Wales, Aberystwyth, UK, 2003. P. 7-11.

References

1. Chermalykh V.M, electric systems and automation mine stationary machines and plants / V.M.Chermalykh, D.I.Rodkin, V.V.Kanevsky // 1976 Nedra, Moscow, 399 p.

2. Geiger V.G.Shahtnye fan and drainage installation: a textbook for high schools / V.G.Geyger, G.M.Timoshenko // - M.: Nedra. 1978-270 with.

3. Popov V.M. Miner dewatering installation /V.M. Popov // - 2nd ed. Revised. and add. - M. : Nedra, 1983 -304p.

4. Sokolovsky GG AC drives with frequency regulation /G.G. Sokolovsky // - M. : «ACADEMA», 2006, p.27-32.

5. Hristo P.E. Optimization of energy consumption of centrifugal machine in transient conditions in a limited range of variables // Energy saving. Energy. Energy audit., №12 (131) .2014. p.2-14.

6. Stashina Y.P. Technical and energy aspects of the controlled drive on the main mine drainage installations / Y.P. Stashina, D.A. Bochenkov, V.V. Wolves // Mining Machinery and Electrical Engineering, - 2008. -№11.- p. 22-25.

7. George J.-P., Edmonds B., Glizes P. Making Self-Organizing Adaptive Multi-Agent System Work – towards engineering of emergent multi system // Methodologies and Software Engineering for Agent Systems. Chapter 8. Kluwer, 2004. P. 319-338.

8. George J.-P., Glizes M.-P., Glizes P. Real-time Simulation for Flood forecast^ An Adaptive Multi-Agent Systems / University of Wales, Aberystwyth, UK, 2003. P. 7-11.

Рецензія/Peer review : 9.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н. Жуков С.О.

MATLAB GPUARRAY METHOD OPTIMAL USE FOR SQUARE MATRIX PRODUCT

*A research of efficient computation of square matrix product on GPU is represented. For this, MATLAB **gpuArray** method is used on three types of NVIDIA® GPU. The method optimal use, if any, requires the matrix order be greater than 120. For a long sequence of products, when order increases, generating matrices directly on GPU is fully inefficient. The efficiency holds if matrices are generated directly on GPU just for a few times.*

*Keywords: matrix product, parallelization, MATLAB, **gpuArray** method, running time efficiency.*

В. В. РОМАНЮК
Хмельницький національний університет

ОПТИМАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ MATLAB-МЕТОДУ GPUARRAY ДЛЯ ДОБУТКУ КВАДРАТНИХ МАТРИЦЬ

*Представляється дослідження ефективного обчислення добутку квадратних матриць на GPU. Для цього використовується MATLAB-метод **gpuArray** на трьох типах NVIDIA® GPU. Для оптимального використання цього методу, якщо таке існуватиме, необхідно, щоб порядок матриці був більший за 120. Для довгої послідовності добутків генерування матриць безпосередньо на GPU є повністю неефективним. Ефективність має місце тоді, коли матриці генеруються безпосередньо на GPU лише декілька разів.*

*Ключові слова: добуток матриць, паралелізація, MATLAB, метод **gpuArray**, продуктивність часу рахунку.*

Problems and tasks of parallelizing computations

Computation is a fundamental routine in observing, modeling, forecasting, controlling, etc. Naturally, any computational routine is desired to be accomplished as rapid as possible. If the routine has identical or similar sections which are independent, they can be accomplished or processed concurrently. Thus, computation is parallelized and sped up.

Key problems addressed by parallel computing are: 1) running parallel loops; 2) executing batch jobs in parallel; 3) partitioning large data sets. Tasks of parallelizing computations lie mostly in speedup and large array data distribution [1, 2]. However, there is no criterion of whether parallelization is expedient. Not every entry can be parallelized efficiently, after all. Parallelization expedience and its rate are undisclosed even for a rudiment of parallel computing, i. e. for matrix product being the most parallelized event [1, 3, 4].

Analysis of preceding origins on parallelization of matrix computations

Matrix computations relate to the most studied mathematical objects. Matrix product is parallelized on multicore processors, GPUs, and computer clusters. Using GPU is preferable to clustering. And in fact, GPU itself contains multicore processors.

Many different algorithms have been designed for multiplying matrices. The most studied algorithms are iterative algorithm, divide-and-conquer algorithm, sub-cubic algorithms, parallel and distributed algorithms. They have different computational complexity and running time efficiency.

Iterative algorithm directly applies the mathematical definition of matrix multiplication [1, 2]. Divide-and-conquer algorithm is an alternative to the iterative algorithm [5]. It relies on the block partitioning which works for all square matrices whose dimensions are powers of two. At the top of the partitioning, the matrix product consists of eight multiplications of pairs of submatrices, followed by an addition step. The divide-and-conquer algorithm computes the smaller multiplications recursively, using the scalar multiplication as its base case.

Iterative and divide-and-conquer algorithms are straightforward. Sub-cubic algorithms provide better running times than those straightforward ones. The Strassen's algorithm is complex enough, but it is faster for large sized matrices [6, 7]. The Le Gall's algorithm, and the algorithm of Coppersmith — Winograd on which it is based, are similar to Strassen's algorithm: a way is devised for multiplying two $N \times N$ -matrices with fewer than N^3 multiplications, and this technique is applied recursively [7, 8]. However, these algorithms are only worthwhile for matrices that are too large to handle on present-day computers [2, 7, 9, 10].

Parallel and distributed algorithms spread computations over multiple processors or over a network. Here, exploiting shared-memory parallelism, the divide-and-conquer algorithm is parallelized for shared-memory multiprocessors. This parallelization algorithm is not practical due to the communication cost inherent in moving data to and from the temporary matrix. A speedup is achieved without using a temporary, though. To some contrary, communication-avoiding and distributed algorithms handle the so-called communication bandwidth. On a single machine this is the amount of data transferred between RAM and cache, while on a distributed memory multi-node machine it is the amount transferred between nodes. In this case, the Cannon's algorithm (known as the 2D algorithm), partitions each input matrix into a block matrix whose elements are $(\sqrt{M/3}) \times (\sqrt{M/3})$ -submatrices, where M is the size of fast memory [11]. The naïve algorithm is then used over the block matrices, computing products of submatrices entirely in fast memory. This reduces communication bandwidth to asymptotically optimal size. In a distributed setting with P processors arranged in $(\sqrt{P}) \times (\sqrt{P})$ 2D mesh, one submatrix of the result can be assigned to each processor, and the product can be computed with each processor. This can be improved by the

3D algorithm, which arranges the processors in a 3D cube mesh, assigning every product of two input submatrices to a single processor. The result submatrices are then generated by performing a reduction over each row. This algorithm can be combined with the Strassen's algorithm to further reduce runtime [12].

A large number of other algorithms use these ones as base. Their efficiency may be improved just on the parallelization paradigm. Thus, modern computational environments are enhanced with GPU device controllers.

Parallelization of matrix computations with MATLAB Parallel Computing Toolbox

MATLAB® is one of the most powerful computational environments supporting GPU devices. The MATLAB environment has **gpuArray** method in MATLAB Parallel Computing Toolbox. This method copies the input numeric data to the GPU. The resulting object is of a class concerning GPU arrays. This object can be operated on by using one of the methods defined for objects of the class.

After matrices-multiplicands are copied to GPU, a matrix product is computed straightforwardly on GPU. It is reputed that matrix computations on GPU are quicker than on CPU owing to parallelization. This is experienced for large sized matrices. But it is uncertain if GPU or, specifically, MATLAB **gpuArray** method is suitable for any matrix computations. The reason is that the likely quicker GPU computations are preceded by copying matrices from CPU to GPU, accomplished factually by **gpuArray**. The copying takes significant time as the CPU-GPU bus bandwidth is not so large. Consequently, optimal parallelization of matrix computations with MATLAB Parallel Computing Toolbox using its **gpuArray** method is to be ascertained. But now we are to solve a simpler problem — to find a threshold which delimits the domain where **gpuArray** method brings gain (speedup), and where it does not. This should be started and executed on the simplest case of matrix product.

Goal and items for its achievement

For MATLAB **gpuArray** method purposed to gain running time efficiency in matrix computations, we have to determine where it is really effective. The pattern for the determination is square matrix product. For achieving this goal, the following items are to be fulfilled:

1. Formalize the problem, i. e. state the goal using mathematical notation.
2. Define the range of square matrices order.
3. Select a few types of GPU available within MATLAB.
4. According to the formalized problem, compose a MATLAB code with cycled square matrix products over the defined range of square matrices order.
5. Appoint minimal number of cycles for initialization and computation which should ensure stable statistical estimation of the running time.
6. Run the MATLAB code for square matrices whose order increases with minimal increment step.
7. Both for CPU and GPU, estimate time for initialization of the matrix elements depending on the order.
8. Both for CPU and GPU, estimate time for square matrix product depending on the order.
9. For each type of the applied GPU, find a subrange of square matrices order, where the GPU running time is shorter than the CPU running time.

Formalization of the running time efficiency problem and the range of square matrices order

Let two $N \times N$ -matrices $\mathbf{A} = (a_{ij})_{N \times N}$ and $\mathbf{B} = (b_{ij})_{N \times N}$ have real-valued entries. For quite certain assignment of these entries, let them be values of standard normal variates:

$$\mathbf{A} \in N(0, 1, N) \text{ and } \mathbf{B} \in N(0, 1, N) \quad (1)$$

by the infinite set $N(0, 1, N)$ of $N \times N$ -matrices in which every entry is a value drawn from the standard normal distribution. Before computing product of matrices $\mathbf{A}$ and $\mathbf{B}$ on GPU, they are copied to a GPU device. The copier is a mapping C taking a matrix $\mathbf{Z}$ on CPU and returning the matrix $\mathbf{Z}_{\text{GPU}}$ on GPU, where $\mathbf{Z}_{\text{GPU}} = C(\mathbf{Z})$. Hence, the GPU running time $t_{\text{GPU}}(N)$ is sum of three components: period of assignment (1), period of transferring

$$\mathbf{A}_{\text{GPU}} = C(\mathbf{A}) \text{ and } \mathbf{B}_{\text{GPU}} = C(\mathbf{B}), \quad (2)$$

and period of the product $\mathbf{A}_{\text{GPU}} \cdot \mathbf{B}_{\text{GPU}}$ computation, denoted by $p_{\text{GPU}}(N)$. The CPU running time $t(N)$ is sum of period of assignment (1) and period of the product $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$ computation, denoted by $p(N)$.

The matrix initialization on GPU is assignment (1) and transferring (2), whose total time we denote by $\theta_{\text{GPU}}(N)$. The matrix initialization on CPU is just assignment (1), whose time is $\theta(N)$. Then running times are

$$t_{\text{GPU}}(N) = \theta_{\text{GPU}}(N) + p_{\text{GPU}}(N), \quad (3)$$

$$t(N) = \theta(N) + p(N). \quad (4)$$

The third way exists for the product $\mathbf{A}_{\text{GPU}} \cdot \mathbf{B}_{\text{GPU}}$ computation when matrices are generated directly on GPU:

$$\mathbf{A}_{\text{GPU}} \in N(0, 1, N) \text{ and } \mathbf{B}_{\text{GPU}} \in N(0, 1, N). \quad (5)$$

Here, GPU matrix initialization is just assignment (5), whose time is $\theta_{\text{GPU}}^*(N)$, without any transferring. Period of the product $\mathbf{A}_{\text{GPU}} \cdot \mathbf{B}_{\text{GPU}}$ computation is $p_{\text{GPU}}^*(N)$. And the GPU running time $t_{\text{GPU}}^*(N)$ for this way is

$$t_{\text{GPU}}^*(N) = \theta_{\text{GPU}}^*(N) + p_{\text{GPU}}^*(N). \quad (6)$$

The goal is to find those $N \in \{2, N_{\max}\}$, at which, individually, the following three inequalities are true:

$$t_{\text{GPU}}(N) < t(N), \quad p_{\text{GPU}}(N) < p(N), \quad p_{\text{GPU}}^*(N) < p(N), \quad t_{\text{GPU}}^*(N) < t(N). \quad (7)$$

Along with (7), the relationship between $p_{\text{GPU}}^*(N)$ and $p_{\text{GPU}}(N)$ ought to be ascertained also. The range $\{2, N_{\max}\}$ of square matrices order starts from 2, indisputably. And let the largest order $N_{\max}$ be 800, what is expected to be enough for seeing domains where **gpuArray** method brings speedup gain.

Selection of GPU available within MATLAB for clocking the running time

We select three types of NVIDIA® GPU for clocking their running time of square matrix product computation 1) GeForce GTS 450 (Figure 1); 2) Tesla K40c (Figure 2); 3) GeForce GT 610 (Figure 3).

```
>> gpuDevice
ans
parallel.gpu.CUDAdevice handle
Package: parallel.gpu

Properties:
    Name: 'GeForce GTS 450'
    Index: 1
    ComputeCapability: '2.1'
    SupportedDevices: 1
    InternalDevice: 1.0000
    MaxThreadsPerBlock: 1024
    MaxStreamsPerBlock: 65536
    MaxThreadBlockSize: [1024 1024 64]
    MaxGridSize: [65536 65536]
    SIMDWidth: 32
    TotalMemory: 1.0737e+09
    FreeMemory: 506561920
    MultiprocessorCount: 1
    ClockRateKHz: 1660000
    ComputeMode: 'Default'
    GPUOverlapsTransfers: 1
    KernelExecutionTimeout: 1
    CanOpportMemory: 1
    DeviceSupported: 1
    DeviceSelected: 1
    Methods: Event, Synchronize
```

Fig. 1. MATLAB object representing GPU device GeForce GTS 450

```
>> gpuDevice(1)
ans
parallel.gpu.CUDAdevice handle
Package: parallel.gpu

Properties:
    Name: 'Tesla K40c'
    Index: 1
    ComputeCapability: '3.5'
    SupportedDevices: 1
    InternalDevice: 1.0000
    MaxThreadsPerBlock: 1024
    MaxStreamsPerBlock: 65536
    MaxThreadBlockSize: [1024 1024 64]
    MaxGridSize: [12.1475e+08 65536]
    SIMDWidth: 32
    TotalMemory: 1.1073e+10
    FreeMemory: 1.1052e+10
    MultiprocessorCount: 15
    ClockRateKHz: 745000
    ComputeMode: 'Default'
    GPUOverlapsTransfers: 1
    KernelExecutionTimeout: 0
    CanOpportMemory: 1
    DeviceSupported: 1
    DeviceSelected: 1
    Methods: Event, Synchronize
```

Fig. 2. MATLAB object representing GPU device Tesla K40c

```
>> gpuDevice(2)
ans
parallel.gpu.CUDAdevice handle
Package: parallel.gpu

Properties:
    Name: 'GeForce GT 610'
    Index: 2
    ComputeCapability: '2.1'
    SupportedDevices: 1
    InternalDevice: 1.0000
    MaxThreadsPerBlock: 1024
    MaxStreamsPerBlock: 65536
    MaxThreadBlockSize: [1024 1024 64]
    MaxGridSize: [65536 65536]
    SIMDWidth: 32
    TotalMemory: 1.0737e+09
    FreeMemory: 54363520
    MultiprocessorCount: 1
    ClockRateKHz: 1660000
    ComputeMode: 'Default'
    GPUOverlapsTransfers: 1
    KernelExecutionTimeout: 1
    CanOpportMemory: 1
    DeviceSupported: 1
    DeviceSelected: 1
    Methods: Event, Synchronize
```

Fig. 3. MATLAB object representing GPU device GeForce GT 610

Estimation of the running time of square matrix product

The composed MATLAB code is split into two sections. Each section contains initialization of two matrices and their product. The product is cycled for 1000 times what ensures stable statistical estimation of the running time. Within the first section, initialization is cycled as well. Within the second section, initialization is not cycled.

Unexpectedly for the cycled initialization, when matrices are generated directly on GPU due to (5), it takes badly increasing initialization period both for GeForce GTS 450 and Tesla K40c (Figures 4 and 5). Though there is a problem of memory (cache) of MATLAB and GPU device while matrix order monotonously increases, the computation period increases normally. Henceforth only single time initialization matters.

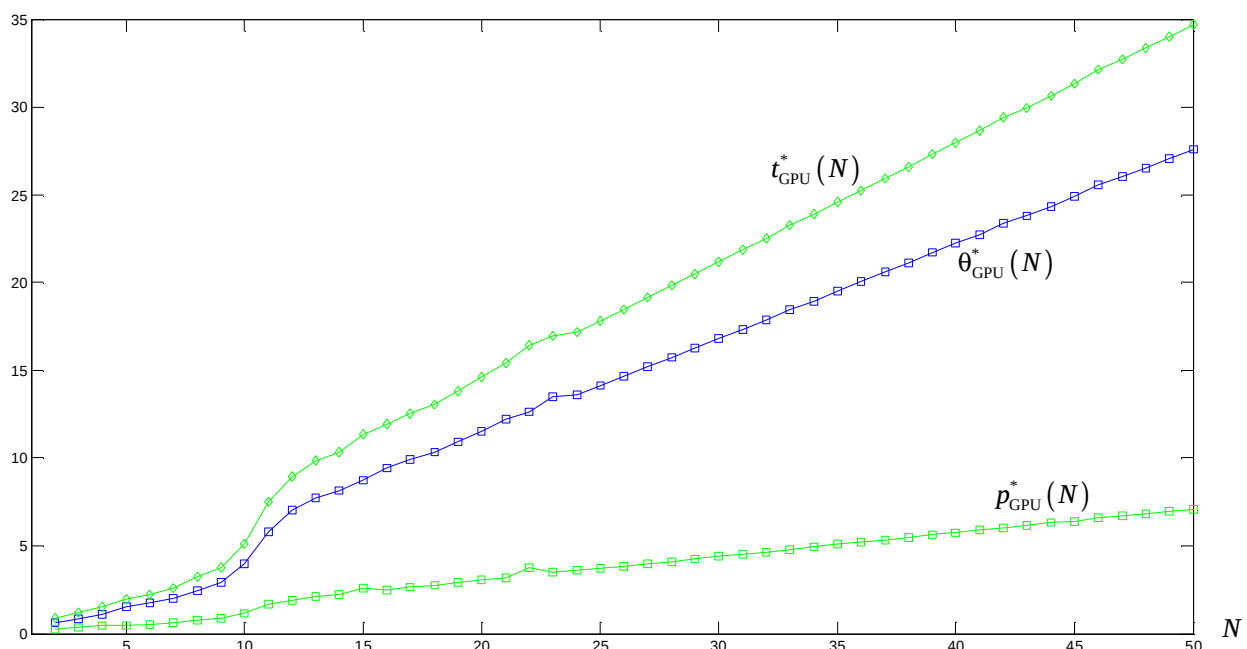


Fig. 4. Badly increasing period of matrix 1000-cycled-initialization for GeForce GTS 450

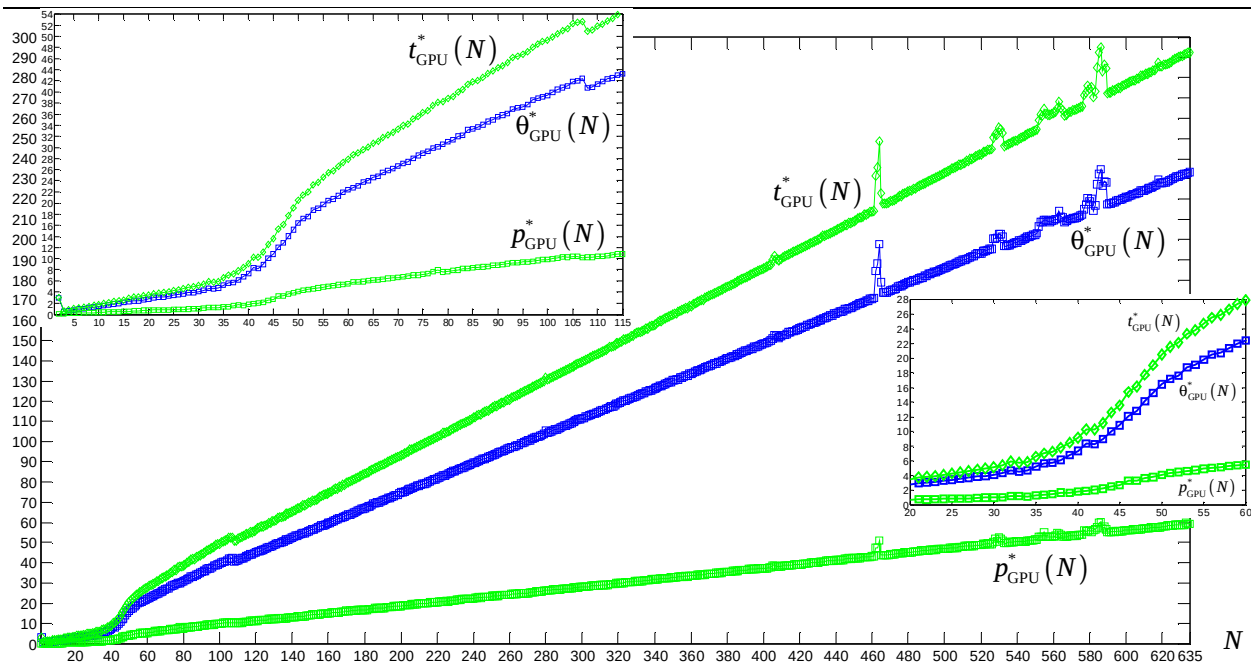


Fig. 5. Badly increasing period of matrix 1000-cycled-initialization for Tesla K40c

When 1000-cycled-initialization is on, each GPU device is conjectured to have its own **gpuArray** method optimal use. Pure product computation time on GeForce GTS 450 is less than on CPU by $N > 160$ (Figure 6). The same appears for single time initialization (Figure 7). But assignment (1) and transferring (2) to GeForce GTS 450 has no effect. Total GPU GeForce GTS 450 running time exceeds CPU running time or comparable till $N = 300$. Period of preassigning singly two matrices is shorter on CPU rather than on GeForce GTS 450 (Figures 6 and 8). Preassigning directly on this GPU is efficient by $N > 410$ (Figure 8).

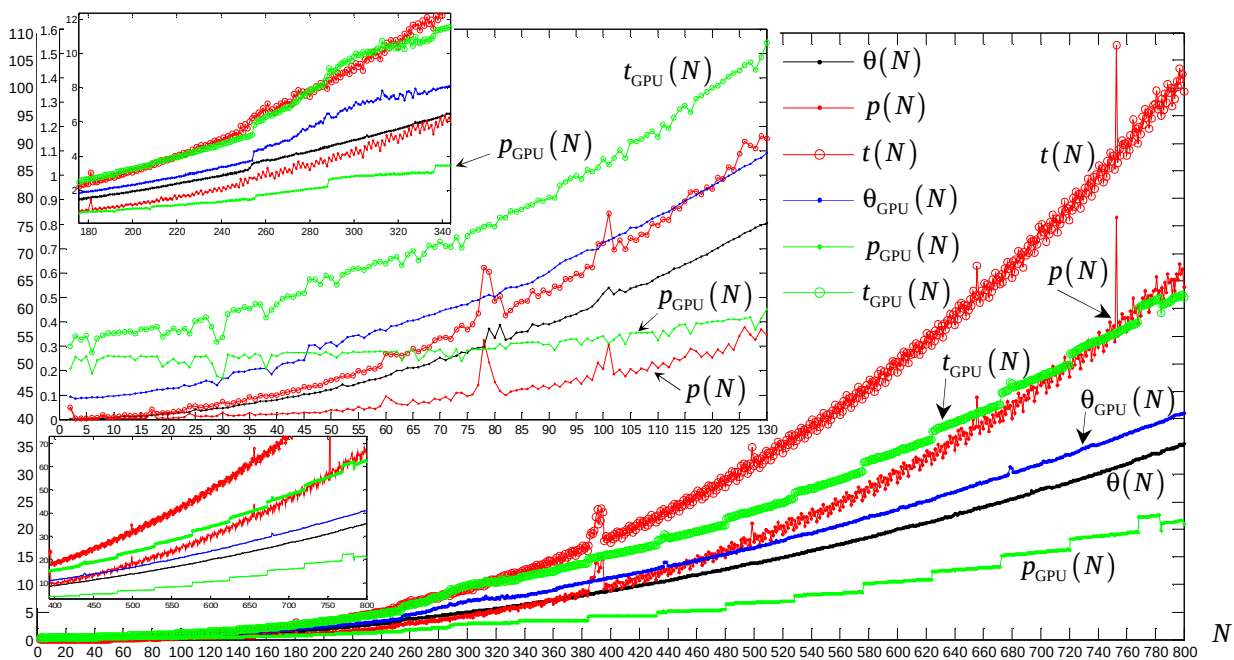


Fig. 6. Estimations of the running time for GeForce GTS 450, when matrices are preassigned during 1000 cycles

On Tesla K40c, pure product computation time is less than on CPU by $N > 130$ (Figures 9 and 10). And $t_{GPU}(N) < t(N)$ by $N > 210$ (Figure 9). Preassigning directly on Tesla K40c is efficient by $N > 120$ (Figure 11). Pure assignment (1) and transferring (2) is inefficient because **gpuArray** method itself takes some period [13].

The worst testing results are for GeForce GT 610. Figures 12 and 13 expose totally noneffective use of **gpuArray** method. Period of preassigning singly two matrices on GeForce GT 610 is weakly and unstably competitive (Figure 14) by $N \in (180; 260)$. These unexpectedly poor results may be caused by that both GeForce GT 610 and Tesla K40c were taking their shares on the same CPU and MATLAB session. Nevertheless, this confirms inefficiency GeForce GT 610, because Tesla K40c is efficient anyhow by $N > 210$.

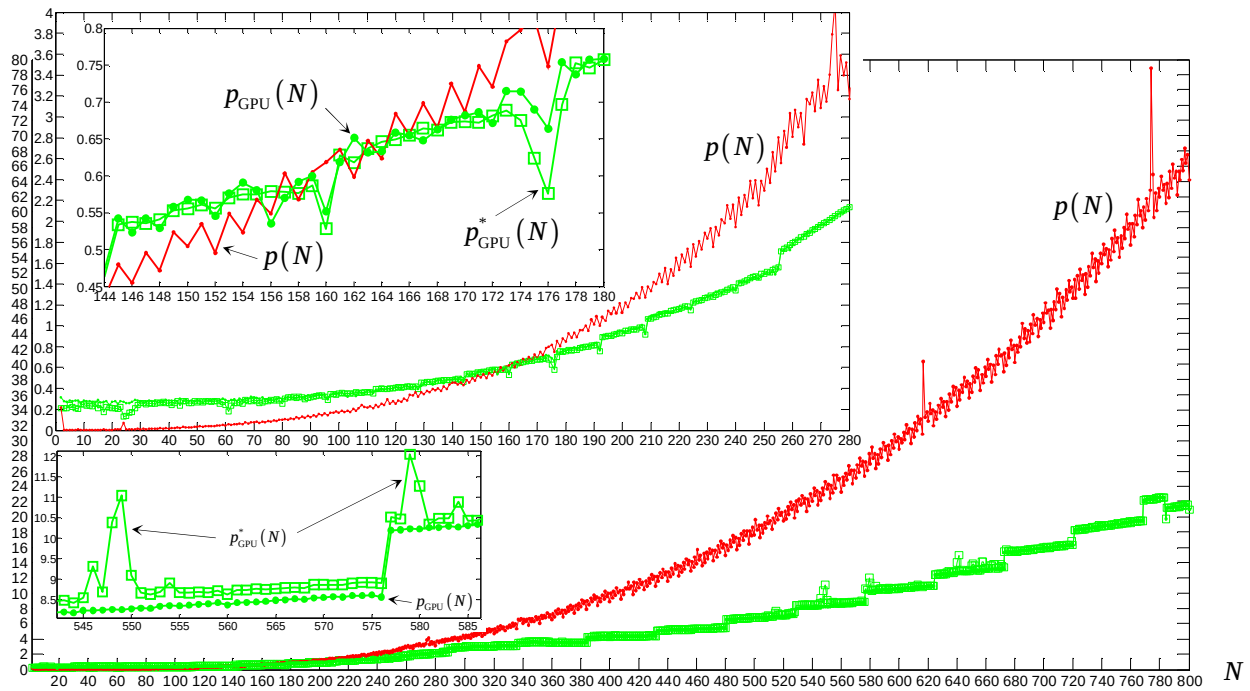


Fig. 7. Estimations of the pure product computation time for GeForce GTS 450, when matrices are preassigned singly

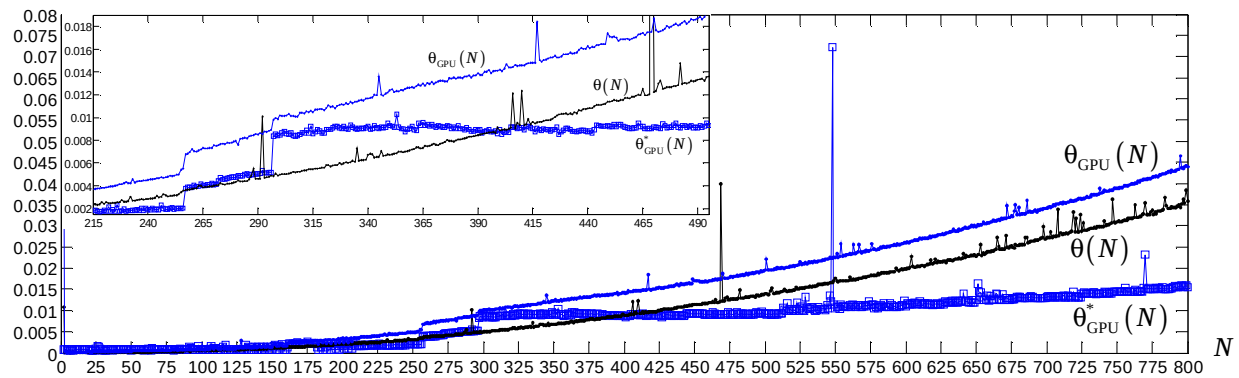


Fig. 8. Period of preassigning singly two matrices on GeForce GTS 450

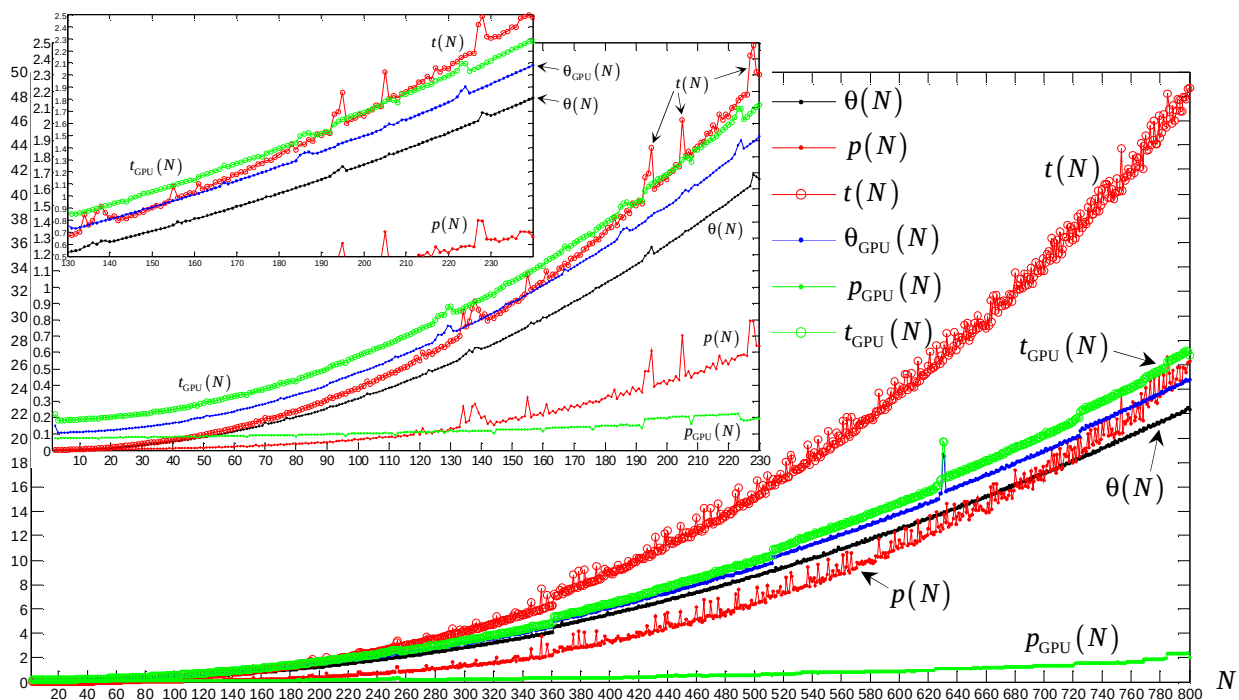


Fig. 9. Estimations of the running time for Tesla K40c, when matrices are preassigned during 1000 cycles

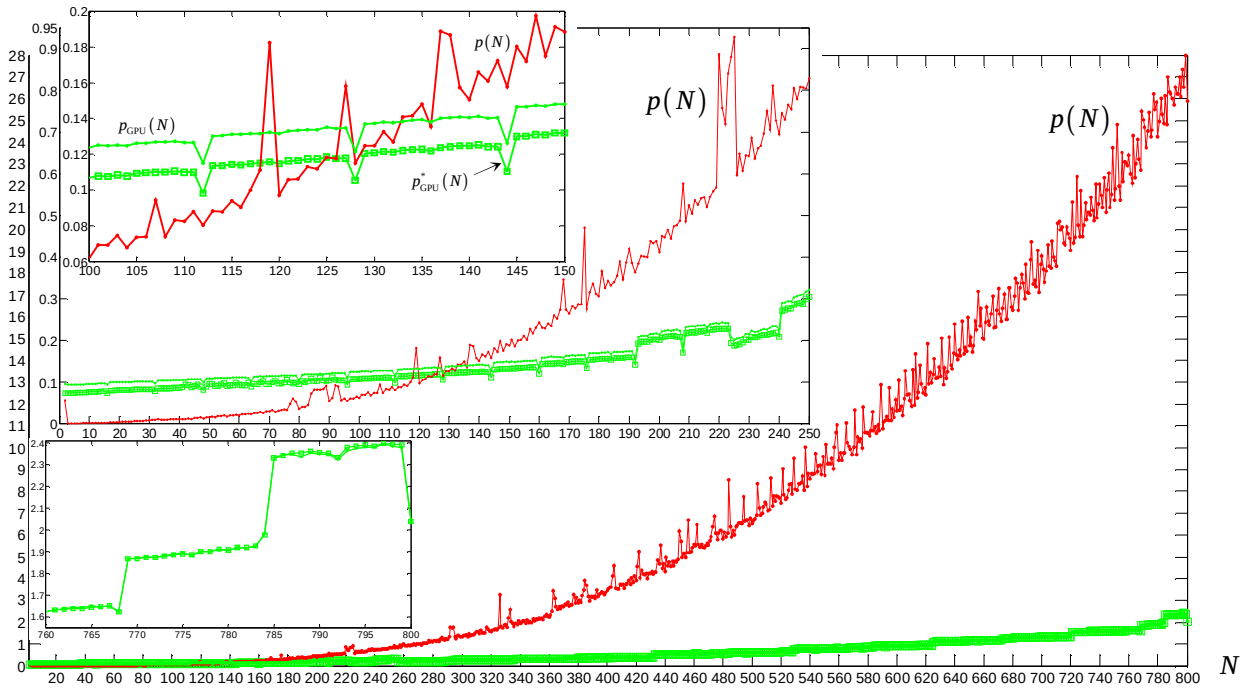


Fig. 10. Estimations of the pure product computation time for Tesla K40c, when matrices are preassigned singly

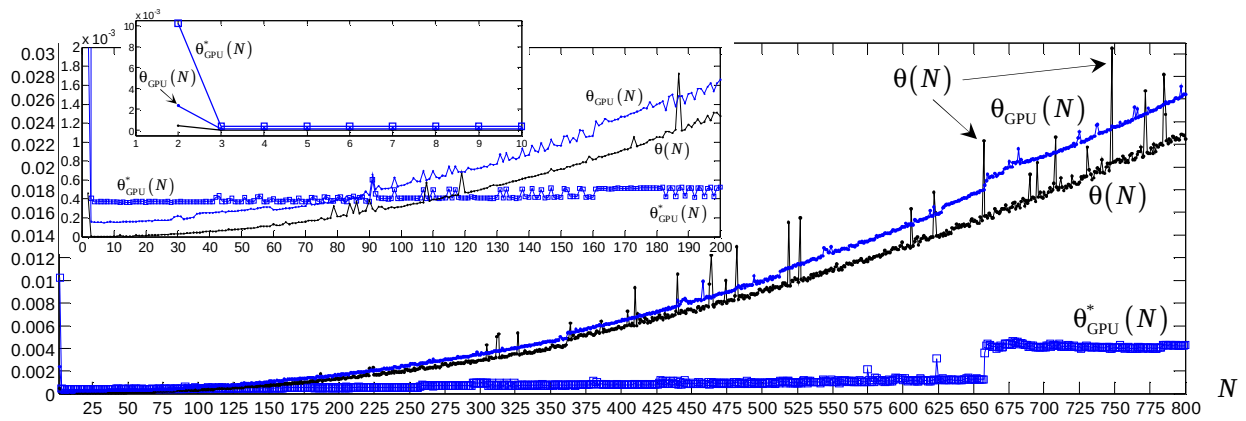


Fig. 11. Period of preassigning singly two matrices on Tesla K40c

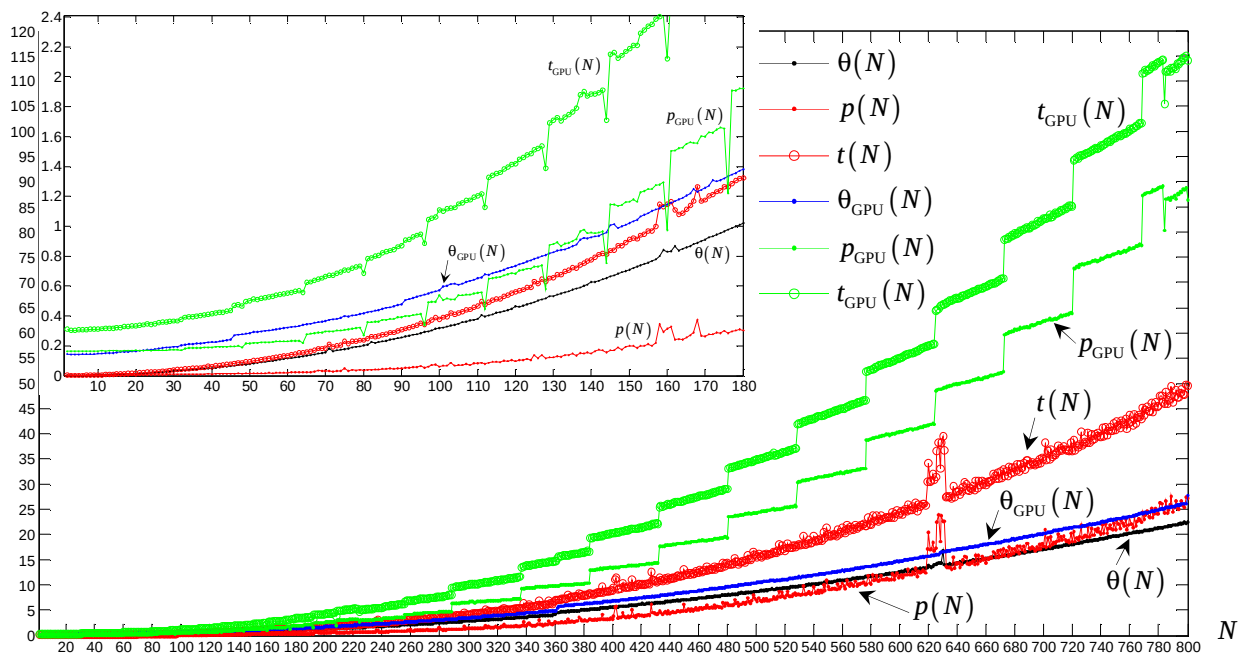


Fig. 12. Estimations of the running time for GeForce GT 610, when matrices are preassigned during 1000 cycles

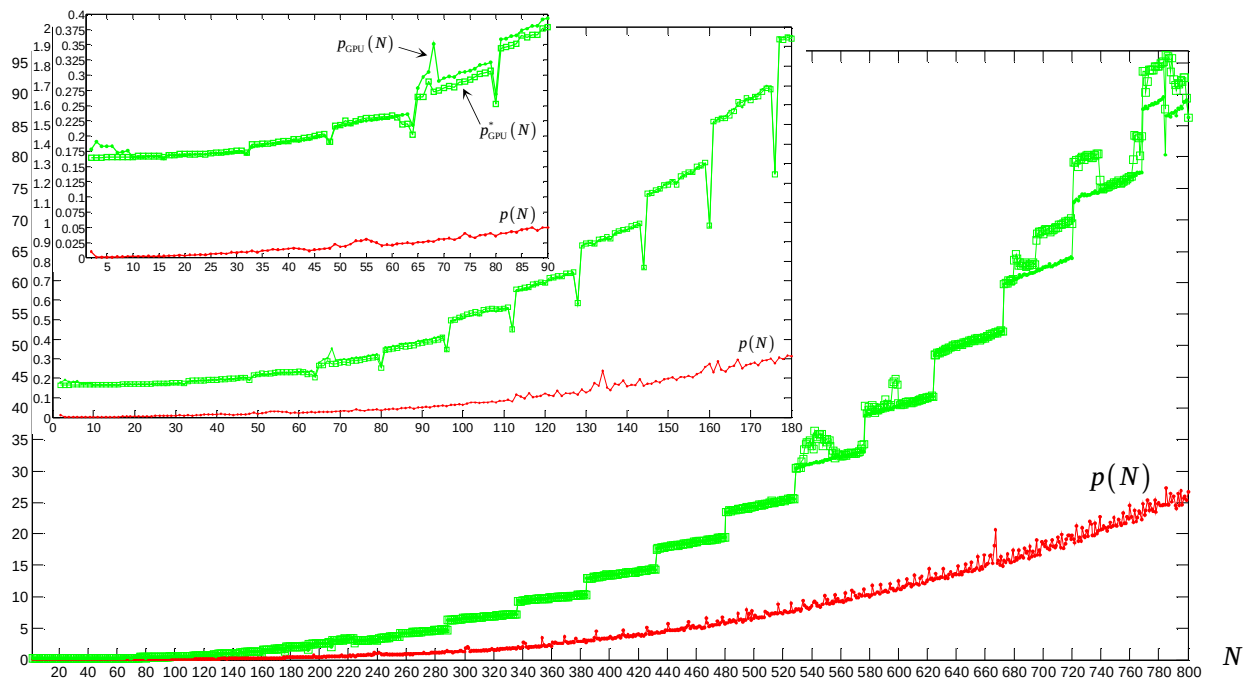


Fig. 13. Estimations of the pure product computation time for GeForce GT 610, when matrices are preassigned singly

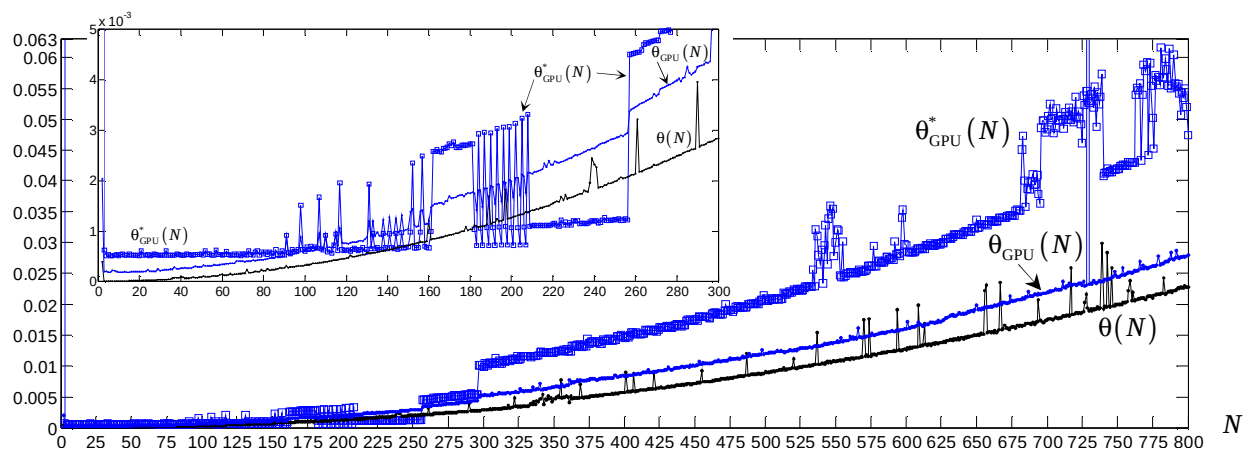


Fig. 14. Period of preassigning singly two matrices on GeForce GT 610

Obviously, the running time on GeForce GT 610 is much longer than the CPU running time. So, MATLAB **gpuArray** method is not suitable for any square matrix computations on this GPU device. If $N > 210$ then **gpuArray** method for Tesla K40c is recommended to use. If matrices are already on Tesla K40c and their order is greater than 130, then using this GPU device is efficient also. For pure product computation, efficiency of GeForce GTS 450 is roughly 10 times less than efficiency of Tesla K40c — compare polylines $p_{\text{GPU}}(N)$ and $p_{\text{GPU}}^*(N)$ in Figures 6 and 7 to polylines $p_{\text{GPU}}(N)$ and $p_{\text{GPU}}^*(N)$ in Figures 9 and 10. At that, GeForce GTS 450 is optimally used with **gpuArray** method when matrix order is greater than 160.

Conclusion

Subranges of square matrices order, where the GPU running time is shorter than the CPU running time, if any, seem to start from a hundred or a few hundreds. No reason to think that the subranges have limits towards infinity — the span between the couples of dependencies

$$\{t_{\text{GPU}}(N), t(N)\},$$

$$\{t_{\text{GPU}}^*(N), t(N)\},$$

$$\{p_{\text{GPU}}(N), p(N)\},$$

and

$$\{p_{\text{GPU}}^*(N), p(N)\}$$

is only increasing (Figures 6, 7, 9, 10).

Unlike GeForce GTS 450 and Tesla K40c, GeForce GT 610 is out of competitiveness (Figures 12 and 13).

Even if this is caused really by peculiarities of two GPU devices on the same CPU and MATLAB session, common quality of GeForce GT 610 is questionable and problematic anyway.

MATLAB **gpuArray** method is optimally used with more powerful GPUs such as Tesla K40c. Comparison of GeForce GTS 450 to Tesla K40c hints that on powerful GPUs **gpuArray** method brings speedup earlier — for the lesser matrix order.

For the tested GeForce GTS 450 and Tesla K40c, MATLAB **gpuArray** method optimal use, if any, requires the matrix order be greater than 120. And for a long sequence of products, when order increases, generating matrices directly on these GPUs is fully inefficient. The efficiency holds if matrices are generated directly on GeForce GTS 450 or Tesla K40c just for a few times. Therefore, the running time is shortened when matrices are already on GPU.

In general, effectiveness of GPU computations strongly depends upon the input data representation. We should combine arrays into larger ones, if it is possible. And for nonsquare matrix product, MATLAB **gpuArray** method may have specific optimal use. Especially, when numbers of lines and columns are very different.

References

1. Petersen W. P. Introduction to Parallel Computing: A practical guide with examples in C / W. P. Petersen, P. Arbenz. — Oxford University Press, 2004. — 278 p.
2. Trobec R. Parallel Computing. Numerics, Applications, and Trends / R. Trobec, M. Vajteršić, P. Zinterhof (Eds.). — Springer, 2009. — 530 p.
3. Kshemkalyani A. D. Distributed Computing Principles, Algorithms, and Systems / A. D. Kshemkalyani, M. Singhal. — Cambridge University Press, 2008. — 754 p.
4. Zhang L. High accuracy digital image correlation powered by GPU-based parallel computing / L. Zhang, T. Wang, Z. Jiang, Q. Kemao, Y. Liu, Z. Liu, L. Tang, S. Dong // Optics and Lasers in Engineering. — 2015. Volume 69. — P. 7 — 12.
5. Veroy B. S. Average complexity of divide-and-conquer algorithms / Boris S. Veroy // Information Processing Letters. — 1988. — Volume 29, Issue 6. — P. 319 — 326.
6. Huang C.-H. A report on the performance of an implementation of Strassen's algorithm / C.-H. Huang, J. R. Johnson, R. W. Johnson // Applied Mathematics Letters. — 1991. — Volume 4, Issue 1. — P. 99 — 102.
7. Chou C.-C. Parallelizing Strassen's method for matrix multiplication on distributed-memory MIMD architectures / C.-C. Chou, Y.-F. Deng, G. Li, Y. Wang // Computers & Mathematics with Applications. — 1995. — Volume 30, Issue 2. — P. 49 — 69.
8. Coppersmith D. Matrix multiplication via arithmetic progressions / D. Coppersmith, S. Winograd // Journal of Symbolic Computation. — 1990. Volume 9, Issue 3. — P. 251 — 280.
9. Takaoka T. Efficient Algorithms for the Maximum Subarray Problem by Distance Matrix Multiplication / T. Takaoka // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. — 2002. — Volume 61. — P. 191 — 200.
10. Lingas A. Bit complexity of matrix products / A. Lingas // Information Processing Letters. — 1991. — Volume 38, Issue 5. — P. 237 — 242.
11. Bae S. E. A Faster Parallel Algorithm for Matrix Multiplication on a Mesh Array / S. E. Bae, T.-W. Shinn, T. Takaoka // Procedia Computer Science. — 2014. — Volume 29. — P. 2230 — 2240.
12. Barth D. Parallel matrix product algorithm in the de Bruijn network using emulation of meshes of trees / D. Barth // Parallel Computing. — 1997. — Volume 22, Issue 12. — P. 1563 — 1578.
13. Silber-Chaussumier F. Generating data transfers for distributed GPU parallel programs / F. Silber-Chaussumier, A. Muller, R. Habel // Journal of Parallel and Distributed Computing. — 2013. — Volume 73, Issue 12. — P. 1649 — 1660.

References

1. Petersen W. P., Arbenz P. Introduction to Parallel Computing: A practical guide with examples in C, Oxford University Press, 2004, 278 p.
2. Trobec R., Vajteršić M., Zinterhof P. (Eds.). Parallel Computing. Numerics, Applications, and Trends, Springer, 2009. — 530 p.
3. Kshemkalyani A. D., Singhal M. Distributed Computing Principles, Algorithms, and Systems, Cambridge University Press, 2008. — 754 p.
4. Zhang L., Wang T., Jiang Z., Kemao Q., Liu Y., Liu Z., Tang L., Dong S. High accuracy digital image correlation powered by GPU-based parallel computing, Optics and Lasers in Engineering, 2015, Volume 69, pp. 7 — 12.
5. Veroy B. S. Average complexity of divide-and-conquer algorithms, Information Processing Letters, 1988, Volume 29, Issue 6, pp. 319 — 326.
6. Huang C.-H., Johnson J. R., Johnson R. W. A report on the performance of an implementation of Strassen's algorithm, Applied Mathematics Letters, 1991, Volume 4, Issue 1, pp. 99 — 102.
7. Chou C.-C., Deng Y.-F., Li G., Wang Y. Parallelizing Strassen's method for matrix multiplication on distributed-memory MIMD architectures, Computers & Mathematics with Applications, 1995, Volume 30, Issue 2, pp. 49 — 69.
8. Coppersmith D., Winograd S. Matrix multiplication via arithmetic progressions, Journal of Symbolic Computation, 1990, Volume 9, Issue 3, pp. 251 — 280.
9. Takaoka T. Efficient Algorithms for the Maximum Subarray Problem by Distance Matrix Multiplication, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2002, Volume 61, pp. 191 — 200.
10. Lingas A. Bit complexity of matrix products, Information Processing Letters, 1991, Volume 38, Issue 5, pp. 237 — 242.
11. Bae S. E., Shinn T.-W., Takaoka T. A Faster Parallel Algorithm for Matrix Multiplication on a Mesh Array, Procedia Computer Science, 2014, Volume 29, pp. 2230 — 2240.
12. Barth D. Parallel matrix product algorithm in the de Bruijn network using emulation of meshes of trees, Parallel Computing, 1997, Volume 22, Issue 12, pp. 1563 — 1578.

13. Silber-Chaussumier F., Muller A., Habel R. Generating data transfers for distributed GPU parallel programs, Journal of Parallel and Distributed Computing, 2013, Volume 73, Issue 12, pp. 1649 — 1660.

Рецензія/Peer review : 9.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://vestnik.ho.com.ua/rules/>

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 11 від 27.05.2015 р.**

Підп. до друку 24.06.2015 р. Ум.друк.арк. 27,61 Обл.-вид.арк. 26,27

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