

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2015

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2015, Issue 5, Volume 229

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, № 5 (229)

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., Сорокатий 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 № 3 від 29.10.2015 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/vestnik>

e-mail: visnyk_khnu@rambler.ru

<http://vestnik.ho.com.ua>

http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

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

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

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА АЛГОРИТМИ ВИЗНАЧЕННЯ АНАЛІТИЧНИХ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДИФІКАЦІЇ АЗОТУВАННЯМ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ	7
R.V. AMBARTSUMYANTS, I.I. DELI DESIGNING OF A CENTRIFUGAL FRICTION COUPLING WITH A FORCE TRANSFORMER	12
О.В. СКІДАН, Т.А. НАДОПТА, І.М. ПАСТУХ АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ СПЛАЙНІВ З КРУГОВИМИ КРИВОЛІНІЙНИМИ НАПРЯМНИМИ	17
М.В. БАБІЙ ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ З БІЧНОЮ УСТАНОВКОЮ БАГАТОГРАННИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ПЛАСТИН ДЛЯ СУДНОБУДІВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА СУДНОРЕМОНТУ	24
В.И. МИРНЕНКО, Е.Н. ЛИСОВОЙ, С.С. БЫСЬ ТРЕНИЕ И ИЗНОС ГЕТЕРОГЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДУЮ СМАЗКУ, В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА	28
Н.М. ЯВОРСЬКА, С.Я. ПІДГАЙЧУК, О.С. ДРОБОТ ОЦІНКА ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ З НАНОВКЛЮЧЕННЯМИ НІТРИДІВ	33
М.Є. СКИБА, О.М. СИНЮК, А.Ю. МИХАЙЛОВСЬКИЙ МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ШНЕКА ТА КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО РУХУ НА ПЕРЕМІЩЕННЯ ГРАНУЛЬОВАНОГО ПОЛІМЕРУ В ПРОЦЕСІ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ	38
Ю.Г. РОЗОВ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ СКЛАДОК ПРИ ВЫТЯЖКЕ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ БЕЗ ПРИЖИМА	45
Г.А. АВАНЕС'ЯНЦ ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ВАРИАТОРА НА УСИЛИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ РЕМНЯ	49
Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, С.А. РОМАШКЕВИЧ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ СЕПАРАТОРА МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО ХОДА	53
Д.О. ДМИТРИЄВ, Е.С. АППАЗОВ, С.А. РУСАНОВ, О.І. КЛЮЄВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗІГРІВУ ДВИГУНА З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ПРИ ПЕРЕДПУСКОВІЙ ПІДГОТОВЦІ	59
В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ МЕТОД СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТОЧОК РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ	62
О.Р. СТРЕЛЕЦЬ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ СОНЯЧНЕ ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО	68
С.А. РУСАНОВ, Ю.Г. РОЗОВ, Ю.М. БАРДАЧОВ, Д.О. ДМИТРИЄВ ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ЕТАЛОННОГО СИПКОГО МАТЕРІАЛУ У ВІБРОКИПЛЯЧОМУ ШАРІ	72

Р.І. СІЛІН, А.І. ГОРДЄСВ, Є.А. УРБАНИЮК ВОДА ПІД ВЗАЄМОДІЄЮ РІЗНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОЛІВ: ВЛАСТИВОСТІ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВІБРАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ	76
Н.М.ЗАЩЕПКІНА, В.А. ПОРЄВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	82
В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Д.В.ХОРОЛЬСЬКИЙ, К.Г. ТІТОРЕНКО АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ ПІДПРИЄМСТВА ГРНИЧО - МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ	86
В.Д. КОСЕНКОВ, Д.А. ИВЛЕВ, А.В. ЯКОВЛЕВ, Т.А. ЖЕЛИБА АНАЛІЗ СТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ В МАШИНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА ИНДУКТОРНОГО ТИПА	93
К.М. КЛЕВЦОВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕКОРТИКАЦІЇ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ	97
В.І. ОСИПЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА, О.В. БАТРАЧЕНКО, С.О. ФІЛІМОНОВ ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОДУКТИВНОСТІ ВОВЧКА	101
Ю.П. ЗАСПА КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОГО, СОНЯЧНОГО І ГАЛАКТИЧНОГО МАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА І	106
І.Ю. КИРИЦЯ, В.Є. ПЕРЛОВ ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ПРИ ХОЛОДНОМУ ФОРМУВАННІ ВНУТРІШНІХ ШЛІЦЬОВИХ ПОВЕРХОНЬ В ГЛУХИХ ОТВОРАХ ...	119
Б.Ф. ПІПА, О.В. ЧАБАН ВПЛИВ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИВОДА РУКАВИЧНОГО АВТОМАТУ ТИПУ ПА	123
А.В. БУКЕТОВ, А.В. АКИМОВ, Д.А. ЗИНЧЕНКО ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДИАНОВОЙ СМОЛЫ, ОТВЕРЖДЕННОЙ ПОЛИЭТИЛЕНПОЛИАМИНОМ, С ДОБАВЛЕНИЕМ ПЛАСТИФИКАТОРА-АНТИПИРЕНА ТРИХЛОРЭТИЛФОСФАТА	126
ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
А.Л. СЛАВІНСЬКА ДИЗАЙН-ПРОГРАМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДУЛІВ ВИРОБІВ У СТРУКТУРІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	134
Н.І. ПОПОВИЧ, М.П. СТЕФАНИК, М.С. БЕДНАРЧУК ОСОБЛИВОСТІ СПОЖИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЗУТТЯ КІЛКОВОГО МЕТОДУ КРІПЛЕННЯ	141
Л.В. КОЗЛОВСЬКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВОДОПРОНИКНОСТІ ТА ВОДОПРОМОКЛОСТІ МАТЕРІАЛІВ ВЕРХУ СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	145
К.М. КЛЕВЦОВ РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ЛУБ'ЯНИХ ВОЛОКОН З ЗАДАНИМИ КІНЦЕВИМИ ЯКІСНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	150
Ю.В. КОШЕВКО ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВЗАЄМОДІЇ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ РЕЧОВИН АПРЕТУ З ТЕКСТИЛЬНИМ МАТЕРІАЛОМ	156

Т.С. АСАУЛЮК, Ю.Г. САРИБЕКОВА, О.Я. СЕМЕШКО ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА В ПРОЦЕССЕ БЕЛЕНИЯ	160
О.М. ГУЩАК, Б.Д. СЕМАК ОЦІНКА РОЛІ РОСЛИННИХ БАРВНИКІВ У ФОРМУВАННІ АСОРТИМЕНТУ ТА ЯКОСТІ ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНОГО ТЕКСТИЛЮ	164
А.Д. КОБЫЩАН ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ СМИНАЕМОСТИ ЧИСТОЛЬНЯНЫХ ТКАНЕЙ	172
Л.О. ПАВЛШ ЯКІСТЬ КОСМЕТИЧНИХ ВИРОБІВ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬСЯ В УКРАЇНІ	175
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
В.М. КИЧАК, В.Д. ТРОМСЮК КОРЕЛЯЦІЙНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БІТОВИХ ПОМИЛОК	180
В.В. ГРИЦИК ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА СПРИЙНЯТТЯ ЗОВНІШНЬОГО СВІТУ	185
Л.Б. ЛІЩИНСЬКА КЛАСИФІКАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ НА УЗАГАЛЬНЕНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ІМІТАНСУ	190
І.Р. ПАРХОМЕЙ, Ю. М. БОЙКО ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЛОКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ З НИЗЬКОЮ ПОВЕРХНЕЮ ВІДДЗЕРКАЛЕННЯ	194
Ю.Ф. АДАМЕНКО, М.В. ЗІНЧЕНКО, Я.В. ГАДЖИЛОВ ОЦІНКА ЗАСОБІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИГНАЛІВ	201
Ю.В. ШЕВЧУК ПРОГРАМНО – АПАРАТНИЙ КОНТУР ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ САЕП ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ НАЛАШТУВАНЬ РЕГУЛЯТОРА	207
Р.А. МАЛЯРЧУК, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРОБЛЕННЯ ДЛЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІЗНИХ ТИПІВ	212
С.І. МЕЛЬНИЧУК, І.З. МАНУЛЯК ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ ПРЕДСТАВЛЕНИХ В УНІТАРНОМУ БАЗИСІ	217
А.П. ПОНОМАРЕНКО, С.С. КОВАЛЬЧУК ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУЧАСНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ І КОМПЛЕКСАХ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ	222
М.В. ПКУЛЯК РОЗРОБКА МЕТОДУ КЛАСИФІКАЦІЇ СТУДЕНТІВ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ПРЕЦЕДЕНТІВ В АДАПТИВНІЙ НАВЧАЛЬНІЙ СИСТЕМІ	226
А.С. КАШТАЛЬЯН ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПЕРІОДИЧНИХ КОМПОНЕНТ ЧАСОВОГО РЯДУ	232
А.А. РОГАТЮК РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ, ДЕТЕКТУВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ У ВИГЛЯДІ ДОДАТКУ ОБРОБКИ ВІДЕОДАНИХ	237

V.V. ROMANUKE

LIMITATION OF EFFECTIVENESS IN USING MATLAB GPUARRAY METHOD
FOR CALCULATING PRODUCTS OF TRANSPOSE-SYMMETRICALLY SIZED MATRICES 243

S.Y. LEONOV

ANALYSIS OF PERFORMANCE OF COMPUTING DEVICES WITH ART *K*-VALUED NEURAL
NETWORK 249

УДК 669.1:537.5

І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА

Хмельницький національний університет

АЛГОРИТМИ ВИЗНАЧЕННЯ АНАЛІТИЧНИХ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДИФІКАЦІЇ АЗОТУВАННЯМ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Викладено структуру та алгоритми програмного забезпечення, яке використовується для розрахунку системи критеріїв для якісного оцінювання результатів азотування в тліючому розряді з розширеним енергетичним діапазоном параметрів. За основу концепції теоретичного обґрунтування прийнято принцип селекції енергетичного спектра падаючого потоку по енергетичним рівням, котрі відповідають оптимумам певних субпроцесів, характерних для азотування в тліючому розряді. Теоретичною базою програмного забезпечення служить енергетична модель процесу.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, критерії оцінки, алгоритм, програмне забезпечення..

I.M. PASTUKH, G.M. SOKOLOVA

Khmelnytsky National University

ALGORITHMS OF THE DETERMINATION OF THE ANALYTICAL EVALUATION CRITERIA FOR MODIFICATIONS IN THE GLOW DISCHARGE NITRIDING

The structure and algorithms for the program of the analytical evaluation criteria for modifications in the glow discharge nitriding with extended power range are presented.

The basis of the concept is the principle of the energy spectrum of the incident flux selection of energy levels. Energy levels graduation is corresponding to the limits in which the characteristic for the glow discharge nitriding elementary processes are possible.

The theoretical basis of software is the energy model of the process. The basic idea of this model is that at any given time the energetically most favorable elementary processes are implemented.

The calculation results confirm the fitness of software and acceptability of the concept of evaluation criteria.

Keywords: nitriding, glow discharge, evaluation criteria, the algorithm program

Вступ

Результативність технологічного процесу в принципі може оцінюватись як на основі показників прямого вимірювання, так і за допомогою певних абстрагованих критеріїв. Базуючись на основі енергетичної моделі азотування в тліючому розряді, запропонована система оцінок, які концептуально враховують паралельний хід декількох субпроцесів, основними серед котрих є утворення нітридів, дифузія азоту та нітридів у глибину поверхні, а також її розпорощення [1]. Принциповою основою запропонованих оцінок є метод селекції енергетичного спектра падаючого потоку (ЕСПП) за певною шкалою рівнів енергії, причому величина та послідовність цих рівнів відповідає енергетичним межах певних типових субпроцесів [2]. В подальшому у зв'язку з розширенням ареалу застосування означених критеріїв виникла необхідність уточнення алгоритмів розрахунку та на їхній основі - створення відповідного програмного продукту. Однією з головних причин виконання цих заходів було в першу чергу розширення енергетичного діапазону параметрів процесу, особливо при застосуванні автономних (незалежних) енергетичних параметрів. Нижче наведені структура програмного продукту та алгоритми головних блоків програм.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка алгоритмів розрахунку аналітичних критеріїв оцінювання результатів модифікації поверхні металевих деталей з використанням азотування в тліючому розряді. Система критеріїв відповідає даним, наведеним у [1], а перелік аналізованих субпроцесів – [2].

Виклад основного матеріалу

Основою для формування аналітичних показників результатів модифікації є енергетичний спектр падаючого потоку, після формування якого проводиться операція селекції (виділення) тих часток падаючого потоку, енергія яких вкладається в межі оптимального перебігу того, чи іншого субпроцесу. З цієї причини комплекс програмного забезпечення включає два блоки:

- розрахунок характеристик ЕСПП іонів і нейтралів;
- визначення аналітичних критеріїв оцінки результатів модифікації металевої поверхні.

Розгорнутий алгоритм розрахунку параметрів енергетичного спектра падаючого потоку продемонстровано на рисунку 1. Вхідними параметрами служать склад компонентів газового середовища, режимні та енергетичні характеристики технологічного процесу.

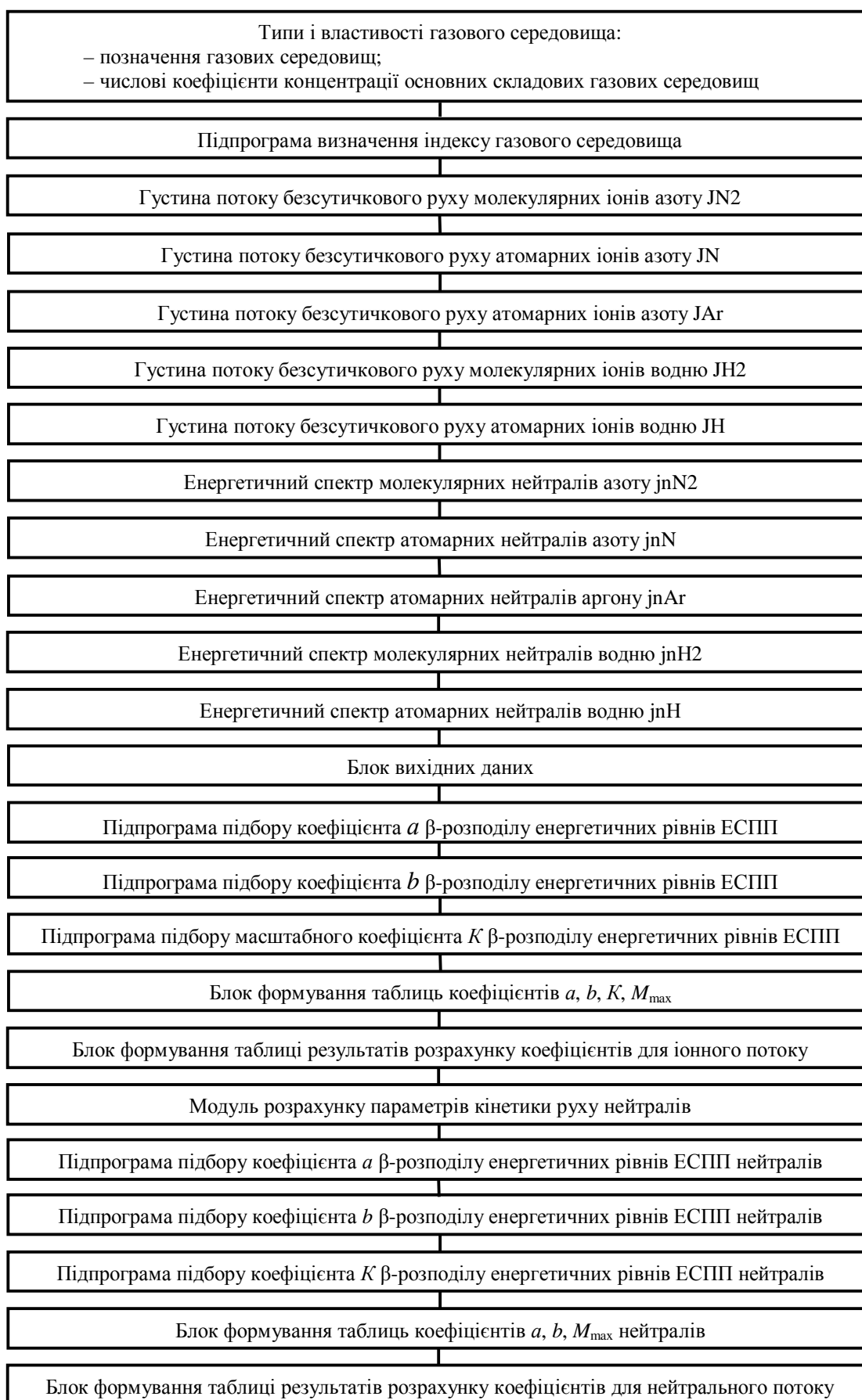


Рис. 1. Алгоритм розрахунку характеристик ЕСПП іонів та нейтралів

Принципова відмінність блоків формування таблиці результатів розрахунку для іонів та нейтралів полягає у тому, що останній додатково включає алгоритми розрахунку входу часток у сутичку. Вище зазначалось, що у зв'язку з розширенням енергетичного діапазону алгоритми визначення середніх кутів

входження часток в поверхню докорінно змінені в порівнянні з тими, які використовувались при граничній напрузі між електродами камери до 500 В.

Підпрограми розрахунку густини потоків іонів для типових компонентів газових середовищ, які використовуються в технології азотування у тліючому розряді, побудовані по однотипному принципу. Блок-схема цих підпрограм показана на рисунку 2.

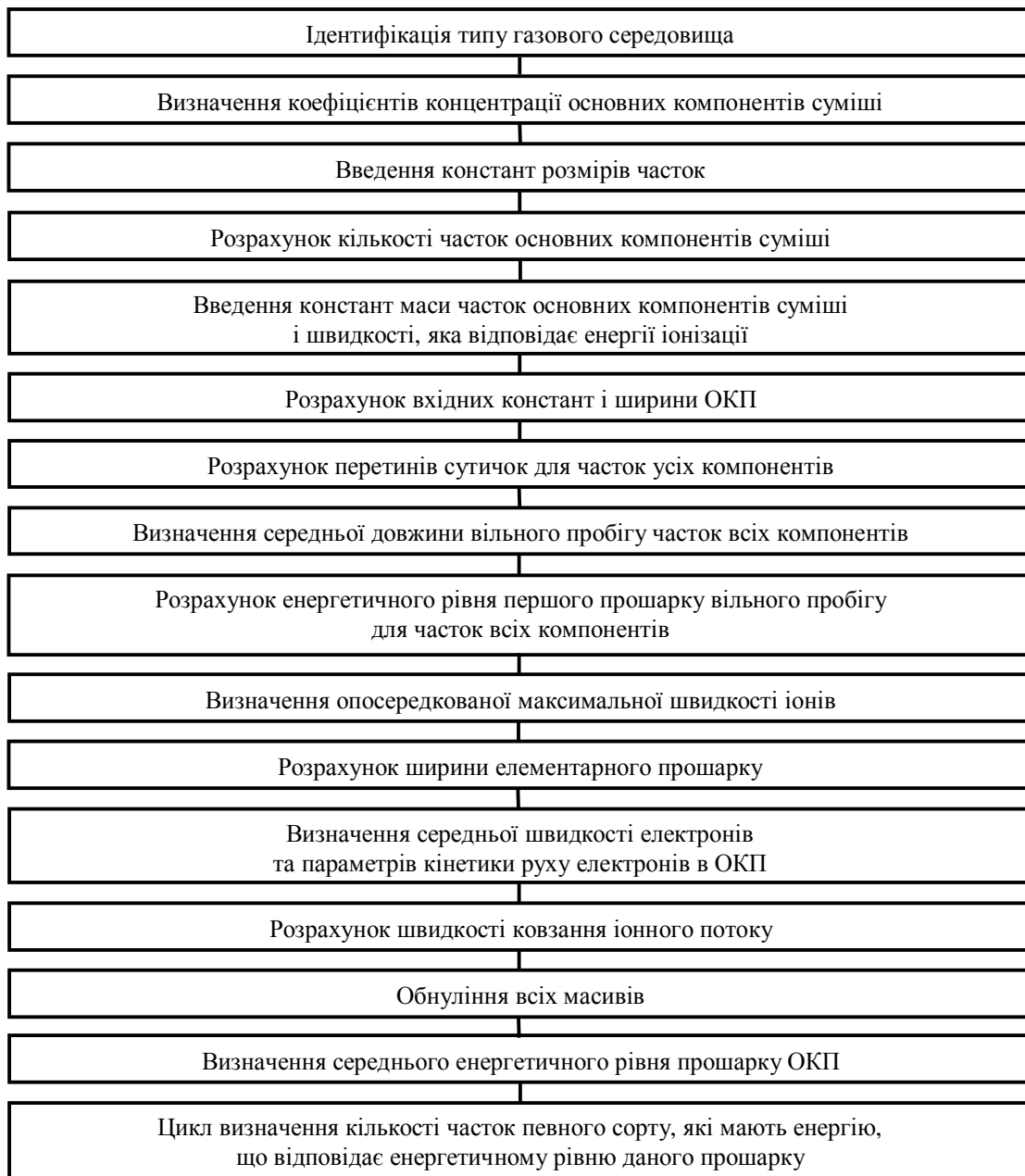


Рис. 2. Алгоритм розрахунку густини потоку безсутичкового руху часток основних компонентів

Програмний модуль визначення аналітичних критеріїв для оцінки результатів модифікації металевої поверхні включає сукупність програм, загальна структура яких однотипна. Очевидно, що кожна з цих програм має певні специфічні особливості, які в основному проявляються в заключних фазах формування конкретного показника у відповідності до призначення підпрограми. Загальну структуру підпрограм продемонструємо на прикладі програмного модуля визначення повного енергетичного спектра утворення нітридів. Алгоритм програмного модуля розрахунку аналітичних критеріїв продемонстровано на рисунку 3, а структура програми визначення відносного енергетичного фактора утворення нітридів – на рисунку 4.



Рис. 3. Алгоритм розрахунку аналітичних критеріїв оцінки результатів модифікації

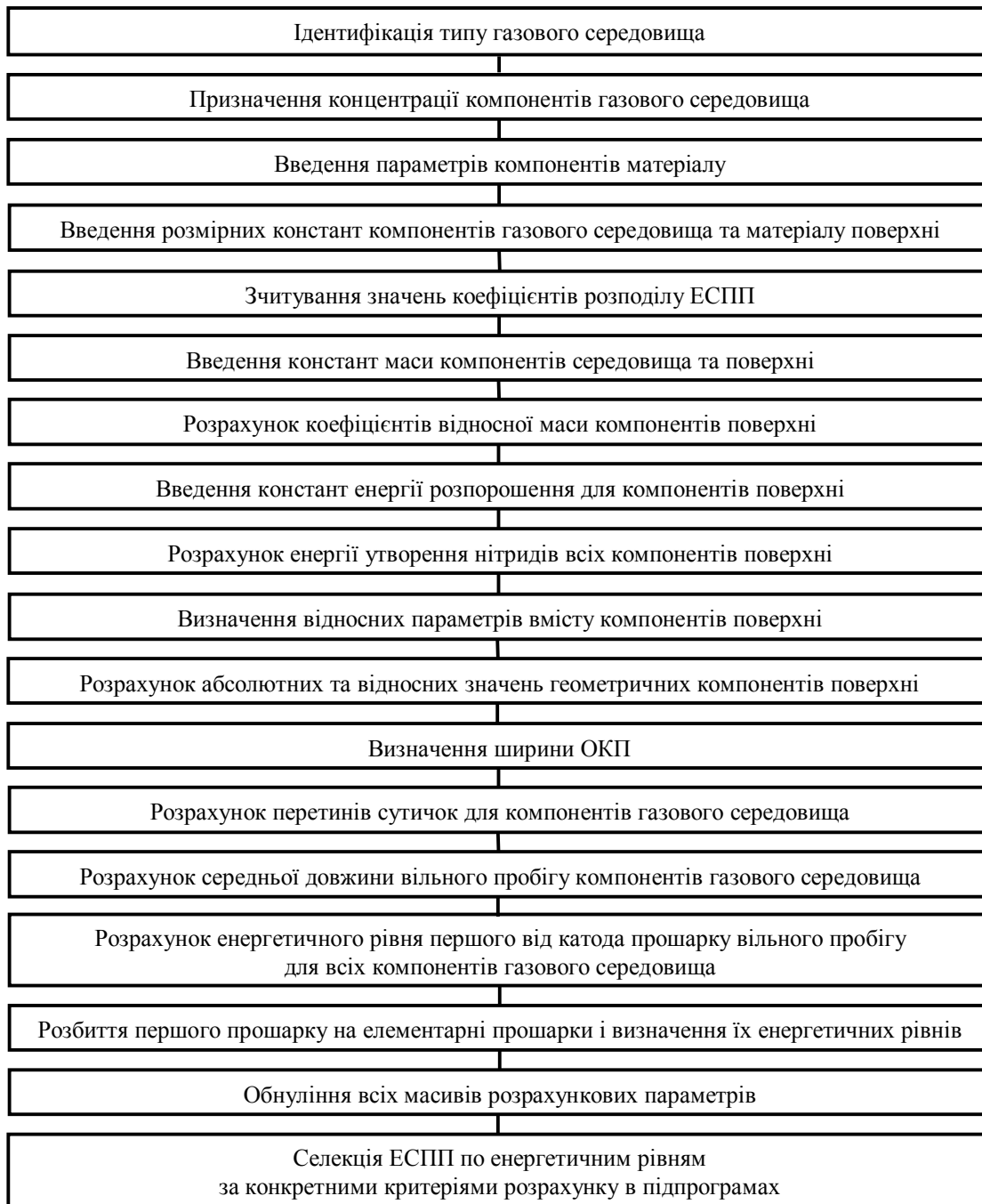


Рис. 4. Алгоритм розрахунку типового блоку визначення критеріїв

Висновки

Розроблені алгоритми служать основою для формування програм розрахунку об'єктивних аналітичних показників ефективності азотування в тліючому розряді металевих поверхонь. З врахуванням розширення завдань досліджень алгоритми пристосовані до процесів з автономними енергетичними параметрами режиму і дозволяють керувати технологіями на основі моделі, в основу якої покладено принцип превалювання енергетики часток потоку, що бомбардує поверхню.

Література

1. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.
2. Pastukh I. M. Subprocesses accompanying nitriding in a glow discharge // Technical Physics 2014, v. 59, issue 9. P. 1320-1325. DOI 10.1134/S1063784214090205.

Рецензія/Peer review : 5.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**DESIGNING OF A CENTRIFUGAL FRICTION
COUPLING WITH A FORCE TRANSFORMER**

Abstract - Mechanical devices, as a rule, consist of the source of motion, transmission gear, working machine and connecting mechanical couplings.

Among the large variety of mechanical couplings the special place is occupied by centrifugal couplings in that the transmission of motion between semi-couplings comes through by centrifugal forces of inertia. Application in the machines of such couplings facilitates their operation, allows to disperse mechanisms and machines with the large moment of inertia, saving reliability and safety of work of source of motion (asynchronous electric gears, combustion engines and so on) here, promotes the smoothness of starting of machine and other.

The special place among centrifugal couplings is occupied by couplings with the transformers of inertia forces. The new, more improved constructions of these couplings are offered by the authors of this work and in particular the fundamental chart of the construction that is given in this work as well. The given work is devoted to planning of centrifugal friction coupling with the wedge transformer of efforts. The work consists of introduction, where the general research task with the purpose of planning of coupling. In the second part the physical model of the prospected object is made and basic geometrical parameters, that are subjected to determination, are set. The third part of the work is devoted to drafting of mathematical model of task taking into account bending resistance of separate details, wearproofness of the attended surfaces, and also mass-inertial descriptions of separate parts of the studied object. Methodology of determination of value of the parameters included in a mathematical model of the set problem is offered as well.

Keywords: coupling, centrifugal force, geometrical parameter, physical model, mathematical model, specific pressure, mass, force of friction, barycenter.

Р.В АМБАРЦУМЯНЦ, И.И. ДЕЛИ
Одесская национальная академия пищевых технологий

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ УСИЛИЙ

Механические устройства, как правило, состоят из источника движения, передаточного механизма, рабочей машины и соединительных механических муфт.

Среди большого разнообразия механических муфт особое место занимают центробежные муфты, в которых передача движения между полумуфтами осуществляется центробежными силами инерции. Применение в машинах таких муфт облегчает их управление, позволяет разгонять механизмы и машины с большим моментом инерции, сохраняя при этом надежность и безопасность работы источника движения (асинхронные электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания и т. п.), повышает плавность пуска машины и др.

Особое место среди центробежных муфт занимают муфты с преобразователями инерционных сил. Авторами этой работы предложены новые, более усовершенствованные конструкции таких муфт и в частности конструкция, принципиальная схема которой предоставлена в этой работе.

Данная работа посвящена проектированию центробежной фрикционной муфты с клиновым преобразователем усилий. Работа состоит из введения, где обоснована задача исследования с целью проектирования муфт. Во второй части составлена физическая модель исследуемого объекта и установлены основные геометрические параметры, подлежащие определению. Третья часть работы посвящена составлению математической модели задачи с учетом изгибной прочности отдельных деталей, износостойкости сопряженных поверхностей, а также масс-инерционных характеристик отдельных частей исследуемого объекта. Предложена также методика определения значения параметров, входящих в математическую модель поставленной задачи.

Ключевые слова: муфта, центробежная сила, геометрический параметр, физическая модель, математическая модель, удельное давление, масса, сила трения, центр масс.

The centrifugal friction couplings (CFCs) are widely used in machines, machines-automats, centrifuges, homogenizers etc., possessing a large moment of inertia. Application of such couplings prevents the overloads of engines at the moment of starting, diminishes the dynamic loadings in knots and details of machines and thereby increases reliability and durability of their operation.

Most perspective from the point of view of reduction of time of operating machine acceleration there are CFCs with a force transformer of out of centrifugal forces.

In the article [1] a fundamental concept and method of calculation of the basic geometrical parameters of CFC with a lever force transformer are brought. However, among the positive signs of such couplings there is one undesirable defect, namely comparatively large longitudinal dimensions which are predetermined by the sizes of a lever force transformer. In addition there is complexity at assembling and mounting of a coupling at a place. It is explained by the fact, that as a separate assembly unit, this construction of a coupling cannot be realized.

The new construction of CFC, protected by the patent of Ukraine [2], is offered for the excepting of these defects. On fig. 1 the semi constructional scheme of such coupling is presented in two projections:

A drive half-coupling consists of input shaft 1, on which fingers 5 are set athwart to the longitudinal axis of shaft 1. A drive shaft by the one end is connected with the shaft of engine, and by the other end is connected movable with a drive half-coupling. On fingers 5 are placed weights 2 with the number of z which are spring-loaded by the springs 4 of compression. Weights 2 are sectors of the circle (see fig.1b) with a central angle ψ . A top part of the sectors 2 in a cross-section has the appearance of trapezoid with an angle 2α between the sidewalls of friction. Springs

4 are set to prevent arbitrarily displacement of weights to the shaft 1 at the shut-down source of motion projections.

The basic geometrical sizes of a coupling are:

d_a, d_b – diameters of shafts of driving and driven half-coupling;

d_{cp} – middle diameter of driven half-coupling;

r_1, r_2 – radiuses defining boundaries of the sloping sidewall of weights;

ϵ – base width of the trapezoid;

m_r – mass of weights.

For the development of a such coupling construction it is necessary to know the diameters of d_a, d_b shafts, mass of weights m_r and their amount z , base width ϵ of trapezoid, diameters of fingers d_n , on which the weights are placed and height h_p , length h_n of fingers excluding landing part in the shaft 1.

As basic data must be set followings:

- motioned on the shaft of driven half-coupling an equivalent moment of inertia of an operating machine I_n ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$);

- time of acceleration t_p of a driven half-coupling (sec);

- frequency of rotation n_a or angular velocity w_a of a drive shaft of a coupling (min^{-1} or sec^{-1}).

As squirrel-cage induction motors in which starting time is fleeting in comparison with time of acceleration of CFC are used in most operating machines, so it is possible to accept assumption as follows

$$w_a = \frac{pn_a}{30} = \text{const.} \tag{1}$$

As marked before, CFCs are used in machines with the large moment of inertia of the rotating masses with a constant angular velocity. The variable moments of inertia, if those would be in such machines (associated units allowing during the operation to change the values of some kinematic and geometrical parameters), can result to changeability of moment of inertia not more than 1...2 % from the total moment of inertia. Therefore it is also possible to accept in subsequent calculations that

$$I_n = \text{const.} \tag{2}$$

We also consider an operating moment of resistance on a driven shaft to be set as

$$T_\epsilon = T_\epsilon(t). \tag{3}$$

For providing of necessary durability and resistance to wear of details of a coupling in further calculations we take into account the maximal value of moment of resistance

$$T_c = T_{\epsilon_{\max}} = \text{const} \tag{4}$$

Under the assumptions made, the maximal torque of resistance on the shaft of a driven half-coupling, we define from the expression:

$$T_{\max} = I_n e_{\max} + T_c, \tag{5}$$

where e_{\max} is a maximal value of angular acceleration of a driven half-coupling in the period of acceleration.

Whereas, time of acceleration on a driven half-coupling is much more than time of acceleration of the induction motor, so it is possible to consider the dynamics of a driven half-coupling as a single-mass rotary system with the equivalent moment of inertia as I_n and the equivalent moment of forces $M_n = M_{mp} - T_c$, where M_{mp} is a moment of friction between weights and a driven half-coupling. For determining of a moment of friction we will take advantage of methodology [3].

We find the area of friction between one weight and a driven half-coupling. We select at distance r increment d_r . So that elementary area is $dA = yr d_r$. The integral of this expression allows to get

$$\int_A dA = y \int_{r_1}^{r_2} r dr = \frac{1}{2} y r^2 \Big|_{r_1}^{r_2} = \frac{1}{2} y (r_2^2 - r_1^2) = 0,5y \frac{d_{cp}}{2} (r_2 - r_1). \tag{6}$$

Whereas, the area of contact of weights with a driven half-coupling is two-sided and tilted in relation to a

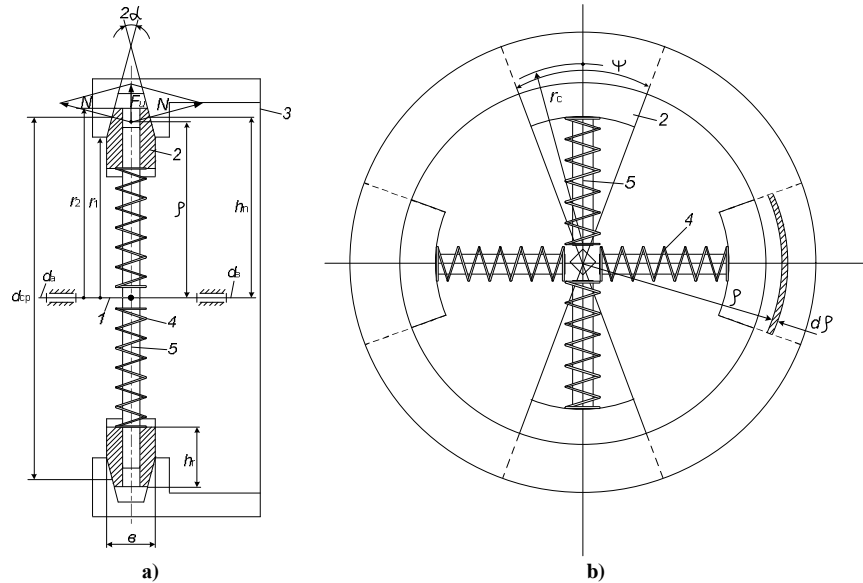


Fig.1. A centrifugal friction coupling with the wedge force transformer in two projections

vertical line at an angle α , we will write down finally

$$A = \frac{Y(r_2^2 - r_1^2)}{\cos \alpha}. \quad (7)$$

Normal elementary force from the distributed load on the surface of friction is

$$dN = qdA, \quad (8)$$

where q is specific pressure on the surface of contact.

We accept the first version about constancy of specific pressure as $q = const$ [3], then integrating that expression (8) we will get

$$N = \int dN = q \int_A dA = q \frac{zY(r_2^2 - r_1^2)}{\cos \alpha}. \quad (9)$$

Centrifugal force of inertia, resulting from mass of one weight is

$$F_u = m_r w_a^2 r_c, \quad (10)$$

where r_c is radius of centre-of-mass of a weight.

If height of weight h_r , so that we accept radius $r_c \approx r_2 - \frac{2}{3}h_r$. Then expression (10) takes the form as

$$F_u = m_r w_a^2 (r_2 - \frac{2}{3}h_r).$$

As the second version was accepted about the distributed load [3], so the resultant load out of the distributed load is possible to consider as operating in the center of surface of friction. Then, as follows from a computational scheme (see fig. 1, a) $2N \sin \alpha = F_u$. From here it follows that

$$N = \frac{F_u}{2 \sin \alpha} = \frac{m_r w_a^2 (r_2 - \frac{2}{3}h_r)}{2 \sin \alpha}. \quad (12)$$

For providing of necessary resistance to wear of the mating surfaces inequality as $q \leq [p]$ must be provided, where $[p]$ is the allowable specific pressure for the conjugate bodies [4]. Then founding on (9) and (12) we will get

$$r_2^2 - r_1^2 \geq \frac{m_r w_a^2 \left(r_2 - \frac{2}{3}h_r \right) \operatorname{ctg} \alpha}{2zY[p]}. \quad (13)$$

According to the Amontons and Colons law for friction force in a wedge slide-block we will gain

$$F_{\text{tp}} = 2fN = \frac{fm_r w_a^2 (r_2 - \frac{2}{3}h_r)}{2 \sin \alpha}. \quad (14)$$

Forces of friction create a torque on a shaft of a driven half-coupling as

$$T_{\text{tp}} = zF_{\text{tp}} \frac{d_{\text{cp}}}{2} = \frac{zfm_r w_a^2 (r_2 - \frac{2}{3}h_r) d_{\text{cp}}}{\sin \alpha}. \quad (15)$$

For providing of acceleration of a half-coupling the inequality must be provided as

$$T_{\text{tp}} \geq T_{\text{max}}. \quad (16)$$

Consequently, to provide necessary strength of details of the examined construction of a coupling all calculations must be conducted by maximal value of a moment of friction. From the expression (5) it follows, that for further calculations it is required to have the value of the maximum acceleration of a driven half-coupling at the acceleration. The compression springs can be designed basing on the condition of the force equilibrium of weight of weights so that in the moment of starting of engine weights would not almost adjoin with the surface of wedge slot. It will allow to eliminate the occurrence of hard hitting at the moment of starting and to consider that the coefficient of static friction does not appear. In this assumption we can assume, that the angular velocity of a driven half-coupling increases evenly till the achievement of value w_a and its angular acceleration can be defined by the next expression

$$e = e_{\text{max}} = \frac{w_a}{t_p}. \quad (17)$$

Taking into account the inequality (15) write down

$$fz(r_1 + r_2)m_r w_a^2 (r_2 - \frac{2}{3}h_r) = I_n \frac{w_a}{t_p} + T_c. \quad (18)$$

The maximal value of the moment of friction allows to find diameters of d_a and d_g by the well-known for us methodology [3]. Fingers on which weights are set operate developing deformation of bend. We can define the diameters of weights, considering them as a cantilever beam, the length of which is $h_n \approx \frac{d_{cp}}{2} = \frac{r_1 + r_2}{2}$. We have [5].

$$s_n = \frac{M_{нз}}{W_p} = \frac{2F_{тп} h_n}{pd_n^3 / 32} \leq [s_n]. \tag{19}$$

On the basis of the expression (13) we will write down that

$$(r_2 - r_1) \frac{d_{cp}}{2} \geq \frac{m_r w_a^2 \left(r_2 - \frac{2}{3} h \right) ctga}{2zy [p]}.$$

From here, passing to equality, we will get that

$$d_{cp} = \frac{m_r w_a^2 \left(r_2 - \frac{2}{3} h \right) ctga}{zy [p] (r_2 - r_1)}. \tag{20}$$

The expression (18) taking into account (14) will be as follows

$$\frac{32 f m_{тп} w_a^2 \left(r_2 - \frac{2}{3} h_r \right) [p] \cos a}{pd_n^3 y (r_2 - r_1)} \leq [s_n]. \tag{21}$$

Thus, for finding the parameters allowing us to construct CFC with a wedge force transformer it is possible to use the system of equalizations:

$$\left. \begin{aligned} \frac{fz d_{cp} m_r w_a^2}{\sin a} \left(r_2 - \frac{2}{3} h_r \right) &= I_n \frac{w_a}{t_p} + T_c \\ \frac{32 f m_r w_a^2 \left(r_2 - \frac{2}{3} h_r \right) [p] \cos a}{pd_n^3 y (r_2 - r_1)} &\leq [s_n]. \end{aligned} \right\} \tag{22}$$

Let write: $I = \frac{r_2}{r_1}$, then $d_{cp} = (1 + I) r_1$ and the expression (20) will be as follows

$$r_1^2 = \frac{2 m_r w_a^2 \left(r_2 - \frac{2}{3} h_r \right)}{zy (I^2 - 1) [p]} ctga. \tag{23}$$

As a rule, it is possible for the number of weights to be set as z . Then it is possible for this value $y \leq \frac{2p}{z}$ to

be set by the inequality (22), so that at assembling in the lower end position of the sectors the maximum torque of the combined weights would provide the inequality as follows $d_{cek} \leq 2r_1$ (see fig. 2).

Specific pressure for the chosen materials is a known value. Set the value of I in boundaries as $1, 1 \leq I \leq 1,35$, and the angle value a from the statement excepting wedging, then from (22) we will get

$$r_1 = \sqrt{\frac{2 m_r w_a^2 \left(r_2 - \frac{2}{3} h_r \right)}{zy (I^2 - 1) [p]} ctga}. \tag{24}$$

Correspondingly

$$\left. \begin{aligned} d_{cp} &= (1 + I) r_1 \\ r_2 &= I r_1 \end{aligned} \right\}. \tag{25}$$

In the system of equalizations (21) there are five unknown values: z, m_r, d_n, h_r, y . On the basis of constructive reasons, it is necessary to be set a value h_r according to the inequality

$$h_r \geq r_2 - r_1 = r_1 (I - 1). \tag{26}$$

Then from the first equalization of the system (21) we find

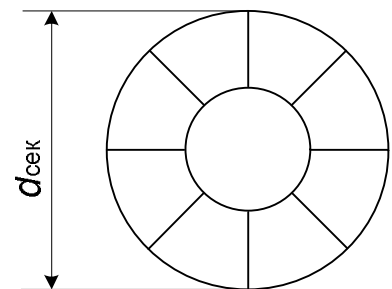


Fig. 2. A sector in the lower end position

$$m_r \frac{2(I_n \frac{w_a}{t_p} + T_c) \sin a}{fz(1+I)r_1 w_a^2 (I r_1 - \frac{2}{3} h_r)} = \frac{6(I_n w_a + T_c t_p) \sin a}{fz(1+I)r_1 w_a^2 (3I r_1 - 2h_r)} \quad (27)$$

From the second equalization of the system (21) we will get

$$\frac{32 f m_r w_a^2 (I r_1 - \frac{2}{3} h_r) [p] \cos a}{p d_n^3 \gamma (I - 1)} \leq [s_n].$$

It follows from here that

$$d_n \geq \sqrt[3]{\frac{32 f m_r w_a^2 (3I r_1 - 2h_r) [p] \cos a}{3 p \gamma (I - 1) [s_n]}}. \quad (28)$$

In conclusion it is possible to say, that the calculation of CFC with a force transformer will allow to design and manufacture such a construction. The coupling, shown on figure 1 by the construction, assembling and mounting is more simplified in comparison with other CFCs with a force transformer. From the theoretical calculations it is evidently, that functionality and capacity of the coupling will allow to increase reliability and durability of machines operation.

Example.

We are set by the basic data from the constructive point of view as follows:

$$I_n = 0,5 \text{ кгм}^2; t_p = 10 \text{ с}; n_a = 1000 \text{ об / мин}; T_c = 5 \text{ Нм}; a = 15^\circ; I = 1,2; f = 0,15; r_1 = 0,05 \text{ м};$$

$$[p] = 4 \text{ Мпа}; [s] = 160 \text{ Мпа}; z = 4; h_r = 20 \text{ мм}.$$

Find the mass of the weight by the expression (27)

$$m_r = \frac{6(I_n w_a + T_c t_p) \sin a}{fz(1+I)r_1 w_a^2 (3I r_1 - 2h_r)} = \frac{6(0,5 \cdot 104,7 + 5 \cdot 10) \cdot 0,2588}{0,15 \cdot 4(1+1,2) \cdot 0,05 \cdot 104,7^2 (3 \cdot 1,2 \cdot 0,05 - 2 \cdot 0,02)} = 0,235 \text{ кг}.$$

Find the diameter of the finger on which the weight moves due to force of inertia by the expression (28)

$$d_n \geq \sqrt[3]{\frac{32 f m_r w_a^2 (3I r_1 - 2h_r) [p] \cos a}{3 p \gamma (I - 1) [s_n]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 0,15 \cdot 0,235 \cdot 104,7^2 (3 \cdot 1,2 \cdot 0,05 - 2 \cdot 0,02) \cdot 4 \cdot 0,9659}{3 \cdot 3,14 \cdot 0,785 (1,2 - 1) 160}} = 3,1 \text{ мм}$$

References

1. Ambartsumyants R. V., Deli I. I. Raschet osnovnix geometricheskix razmerov czentrobezhnoj frikczionnoj mufty' s preobrazovatelem usilij / Ambarczumyanc R. V., Deli I. I. // Naukovy'j zhurnal VISNY'K Xmelniczkogo naczionalnogo universitetu. – 2012. - №6 – С. 25- 28.
2. Patent na korisnu model №86699MPK F16D 13//00/ Vidczentrova frykczijna mufti / Ambarczumyanc R. V., Deli I. I. Odeska naczionalna akademiya xarchovix texnologiy. – Opub.10.01.2014, bul. №1. – 6с.
3. Kozhevnikov S.N. TMM. Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov, izdatelstvo tret'e. Mashy'nostroenie. 1969. 585с.
4. Reshetov D.N. Detali mashy'n. Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov, izdatelstvo tret'e. Mashy'nostroenie. 1975. - 655с.
5. Fedosev V.I. Soprotivlenie materialov. Gl. red. Fiziko-matematicheskoe literaturnoe izdanie Nauka, 1970g. – 544с.

Рецензія/Peer review : 11.10.2015 р. Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

О.В. СКІДАН

Київський національний університет технологій та дизайну

Т.А. НАДОПТА, І.М. ПАСТУХ

Хмельницький національний університет

АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ СПЛАЙНІВ З КРУГОВИМИ КРИВОЛІНІЙНИМИ НАПРЯМНИМИ

В роботі викладені аналітичні основи принципово нових підходів до формування абрисів деталей виробів легкої промисловості за допомогою сплайнових кривих з криволінійними напрямними. Розглянуті головні варіанти можливих комбінацій типів ділянок сплайнів, приведені всі необхідні для визначення положення точок кривої сплайну формули. Матеріал може бути використаний для розробки програмного забезпечення автоматизованого проектування абрисів деталей. Основною перевагою запропонованого типу кривих є спрощення процедури їх проектування з одночасним забезпеченням більш точного відображення реальних деталей. Перевагами розробленого методу є мобільність керування формою криволінійних кривих абрисів деталей із зниженням порядку кривої, в тому числі – з кривизною різного напрямку, зокрема, що перш вагомо для кривих характерних абрисів колодки та умовної розгортки колодки.

Ключові слова: сплайнові криві, аналітична модель, криволінійні напрямні, проектування деталей

O.V. SKIDAN

Kyiv National University of Technologies and Design

T.A. NADOPTA, I.M. PASTUH

Khmelnitsky Natsionalny Universitet

ANALYTICAL FRAMEWORK OF SPLINES WITH CIRCULAR CURVED GUIDES

Abstract – The paper deals with innovative analytical approaches to forming of detail outlines of light industry products by using of spline curves with curved guides. Some specific questions relating to the classification and terminology concerning general splines and splines with curved guides in particular are determined.

Different options of possible combinations of types of splines parts are considered, all necessary formulas for determining of the position of spline curve points are given. The material can be used for the development of software of detail outlines design. The main advantage of the proposed type of curves is simplification of design procedures while providing a more accurate representation of the real parts.

The advantages of the developed method is the mobility of management of detail outlines curve shape with the reduction of the curve order including the different directions of the curvature that is characteristic for curves of outlines and conditional scan of pads.

Keywords: spline curves, analytical model, curvilinear guides, design details

Вступ

Сучасні методи застосування основ прикладної та аналітичної геометрії дозволяють моделювати об'єкти досить складної форми. При цьому задачі котрі вирішуються, направлені на пошук аналітичного опису та подальшого моделювання об'єктів із застосуванням кривих різних порядків. Методи моделювання кривих ліній за способом опису умовно поділяться: за допомогою масивів точок; за допомогою рівнянь. Застосування масивів точок по –перше, громіздке, оскільки пов'язане із застосуванням значних чисельних методів обчислень, а по –друге, знайдені таким чином характеристики можуть не відповідати поставленим вимогам та не містять аналітичної основи [1]. Також вони розв'язують задачу не повною мірою, оскільки не враховують геометричних характеристик, властивих кривим лініям. Існує також певна кількість методів знаходження залежностей рівнянь опису кривих у вигляді різноманітних функцій, поліномів, тощо.

Актуальними задачами геометричного та аналітичного моделювання є розробка нових більш досконалих моделей, які описують реальні об'єкти, наприклад взуття. Тому необхідно розвивати теорію моделюючого апарату, який повинен забезпечувати відповідність побудованої моделі заданим вимогам та мати необхідну точність відтворення об'єкта.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У практиці проектно-конструкторських робіт для моделювання кривих ліній застосовують певні підходи та методи [1-5]. Основою означених методів є використання геометричних прийомів та формування моделі кривих опису з використанням складних математичних прийомів та перетворень. Також слід звернути увагу, що проблеми та задачі визначення геометричних характеристик кривих та поверхонь розроблялися для певної групи об'єктів (літакобудування, суднобудування, геодезія).

А розвиток взуттєвої галузі вимагає безупинної розробки нових ефективних методик проектування на засадах сучасних комп'ютерних інформаційних технологій. Це неможливо без досліджень та розробок оптимізації процесів автоматизованого проектування та геометричного і аналітичного моделювання колодки та деталей взуття.

У роботах [6-8] розроблені головні засади використання сплайнових кривих для проектування абрисів деталей легкої промисловості, в першу чергу – взуттєвої. Там же викладені теоретичні принципи та алгоритми вирішення оберненої задачі проектування абрисів, яка полягає у знаходженні положення керуючих точок сплайну при відомих положеннях точок абрисів деталей. Розроблене відповідне програмне

забезпечення з метою практичної реалізації алгоритмів оберненої задачі. В статті [8] викладені пропозиції стосовно застосування сплайнів з криволінійними напрямними, наведені основні переваги методу, котрі, насамперед, полягають у більш гнучкому керуванні формою кривої, ускладненню форми абрисів при одночасному зниженню порядку кривої. Матеріал у статті [8] носить постановочний характер і потребує подальшого розвитку, насамперед в аналітичному плані, що і є завданням пропонованої статті.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає у формуванні аналітичних основ сплайнів з круговими криволінійними напрямними за рахунок розробки варіантів можливих комбінацій сплайнів з криволінійними напрямними.

Викладення основного матеріалу

В першу чергу необхідно визначитись з деякими специфічними питаннями, котрі стосуються класифікації та термінології стосовно сплайнів взагалі та сплайнів з криволінійними напрямними зокрема. Сплайном або сплайновою кривою вважається гладка лінія, тобто лінія, в будь-якій точці якої однозначно визначається похідна. Особливим випадком сплайну може бути пряма (сплайн першого порядку, який визначається двома керуючими точками – кінцями цієї прямої).

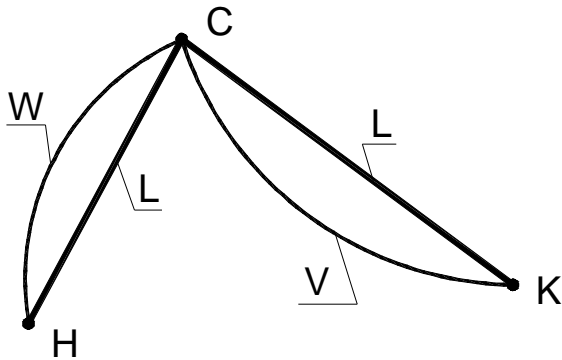


Рис. 1. Схема позначень в ЕС

В принципі абрис деталі може мати безліч перегинів, при цьому слід мати на увазі, що кожний перегин вимагає окремої керуючої точки, а порядок кривої на одиницю більший за число цих перегинів, відповідно – число керуючих точок на одиницю більше порядку кривої. В статті [8] показано, що застосування сплайнів з криволінійними напрямними дозволяє значно ускладнити форму кривої без збільшення її порядку. Відомо [1], що чим далі знаходиться певна ділянка від певної керуючої точки, тим менше положення цієї точки впливає на форму цієї ділянки сплайну. Таким чином у подальшому для спрощення

викладу достатньо дослідити аналітику найпростішої складової сплайнової кривої – її елемента. Елементом сплайну (ЕС) вважатимемо ділянку найменшої складності (виключаючи сплайн першого порядку), яка є сплайном другого порядку та визначається трьома керуючими точками. Також умовно встановимо послідовність цих точок шляхом обходу їх за годинниковою стрілкою (напрямок для аналітики принципової ролі не відіграє), тому точка Н буде точкою початку ЕС, точка С – серединою, а точка К – кінцевою (рис. 1). Відповідно відрізки НС – назовемо початковою ділянкою ЕС, а відрізок СК – кінцевою. У звичайних сплайнах НС і СК – прямолінійні напрямні, які позначимо буквою L. Звичайний ЕС типу L знаходиться всередині кута, утвореного напрямними, а кінці його співпадають з точкою початку та кінця ЕС (відповідно Н і К) (ці властивості зберігаються для ЕС всіх типів).

Криволінійна напрямна (КН) – будь-яка крива, яка з’єднує кінці початкової або кінцевої ділянок. Найпростішими з них можуть бути дуги кола, еліпса тощо. В подальшому розглядаються криволінійні напрямні у вигляді дуг кола. Якщо центр кривизни КН знаходиться всередині кута, утвореного напрямними ЕС, то така КН називається опуклою (тип W), якщо зовні його – вгнутою (тип V). Очевидно, що центр кола завжди буде симетричним відносно кінців відповідної ділянки.

Варіант LL детально розглянуто з позицій аналітики в [1], а принцип побудови – [5]. Нагадаємо, що основою для всіх розрахунків, необхідних для побудови сплайнів різних типів, є параметр t, оскільки положення будь-якої точки на відрізку визначається шляхом множення цього параметра на довжину відрізка.

Варіант WL

В цій комбінації початковою напрямною є криволінійна опукла, кінцевою – прямолінійна. Розрахункова схема показана на рисунку 2.

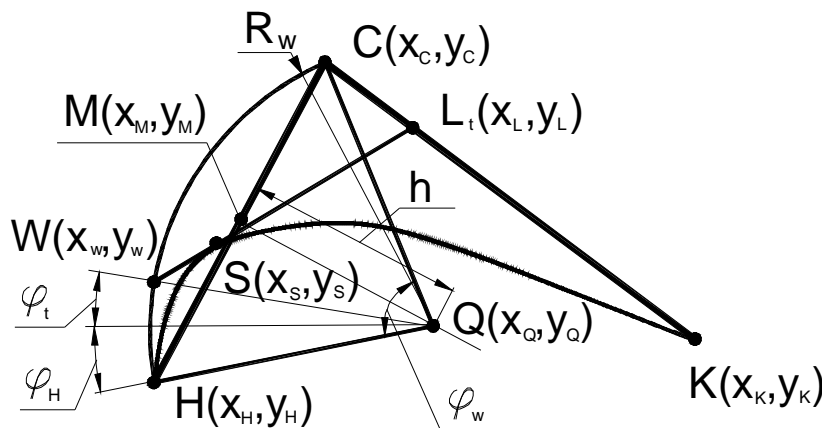


Рис. 2. Схема побудови сплайна типу WL

Задано координатами положення керуючих точок сплайну $H(x_H, y_H)$, $C(x_C, y_C)$, $K(x_K, y_K)$, варіативно вибирається радіус криволінійної напрямної R_W . Задача зводиться до визначення координат точки сплайну при певному значенні параметра t (поточна точка S з координатами x_S, y_S).

$$x_S = x_W + t(x_L - x_W),$$

$$y_S = y_W + t(y_L - y_W).$$

Координати точки L

$$x_L = x_C + t(x_K - x_C)$$

$$y_L = y_C - t(y_C - y_K)$$

Координати точки W

$$x_W = x_Q - R_W \cos f_t,$$

$$y_W = y_Q + R_W \sin f_t$$

Положення центра кола кругової криволінійної напрямної визначається з наступної побудови. З середини M початкового відрізка HC , координати якої

$$x_M = x_H + 0,5(x_C - x_H),$$

$$y_M = y_H + 0,5(y_C - y_H)$$

проводиться перпендикуляр, на якому відкладається відстань

$$h = \sqrt{R^2 - (0,5 HC)^2}.$$

Якщо врахувати, що кутовий коефіцієнт нахилу напрямної HC

$k_{HC} = (y_C - y_H)/(x_C - x_H)$, то кутовий коефіцієнт перпендикуляра $k_h = -(1/k_{HC})$, який чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу перпендикуляра. Тоді

$$x_Q = x_M + h \cos(\text{arc tg } k_h),$$

$$y_Q = y_M - h \sin(\text{arc tg } k_h).$$

Кут f_t , необхідний для визначення координат поточної точки W (x_W, y_W),

$$f_t = t \cdot f_W - f_H,$$

де допоміжний кут

$$f_H = \text{arc tg}((y_Q - y_H)/(x_Q - x_H)),$$

а кут дуги криволінійної напрямної

$$f_W = 2(\text{arc sin}(0,5HC/R)).$$

Довжина відрізка $HC = \sqrt{(x_C - x_H)^2 + (y_C - y_H)^2}$.

Наведена аналітика є першоосною для автоматизованих розрахунків координат точок сплайнової кривої з круговою опуклою початковою напрямною.

Розглянемо інші варіанти.

Варіант VL

В цьому випадку початковою напрямною є вгнута кругова напрямна, кінцевою – прямолінійна напрямна. Схема подібної комбінації напрямних показана на рисунку 3. По можливості збережена система позначень, яка використовувалась в попередній схемі.

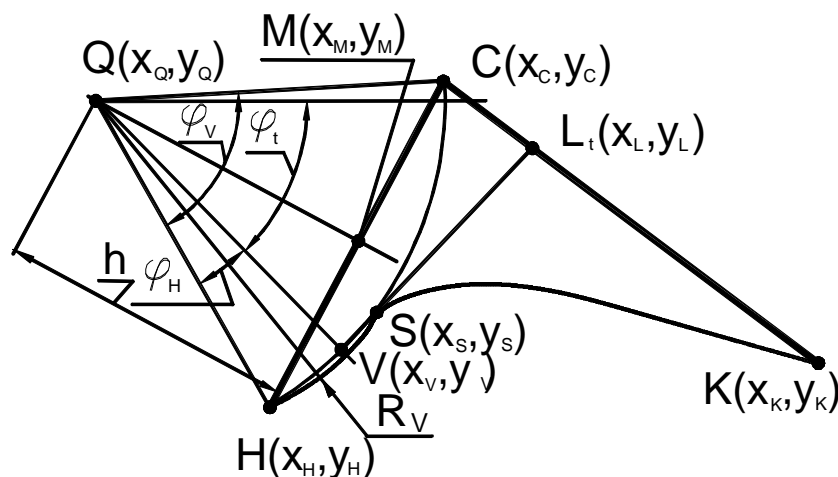


Рис. 3. Схема побудови сплайна типу VL

Задача зводиться до визначення координат точки сплайну при певному значенні параметра t (поточна точка S з координатами x_s, y_s).

$$\begin{aligned} x_s &= x_w + t(x_L - x_w), \\ y_s &= y_w + t(y_L - y_w), \\ x_L &= x_C + t(x_K - x_C), \\ y_L &= y_C - t(y_C - y_K), \\ x_w &= x_Q + R_w \cos f_t, \\ y_w &= y_Q - R_w \sin f_t. \\ x_M &= x_H + 0,5(x_C - x_H), \\ y_M &= y_H + 0,5(y_C - y_H) \\ h &= \sqrt{R^2 - (0,5 HC)^2}. \end{aligned}$$

Кутовий коефіцієнт нахилу напрямної HC

$k_{HC} = (y_C - y_H)/(x_C - x_H)$, то кутовий коефіцієнт перпендикуляра $k_h = -(1/k_{HC})$, який чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу перпендикуляра. Тоді

$$\begin{aligned} x_Q &= x_M + h \cos(\text{arc tg } k_h), \\ y_Q &= y_M + h \sin(\text{arc tg } k_h). \\ f_t &= f_w - f_H - \text{arc sin}((y_C - y_Q)/(x_C - x_Q)). \\ f_w &= 2(\text{arc sin}(0,5HC/R)) \\ f_H &= t \cdot f_w, \\ f_w &= 2(\text{arc sin}(0,5HC/R)). \\ HC &= \sqrt{(x_C - x_H)^2 + (y_C - y_H)^2}. \end{aligned}$$

Варіант WV

Схема, що відповідає цій комбінації, показана на рисунку 4.

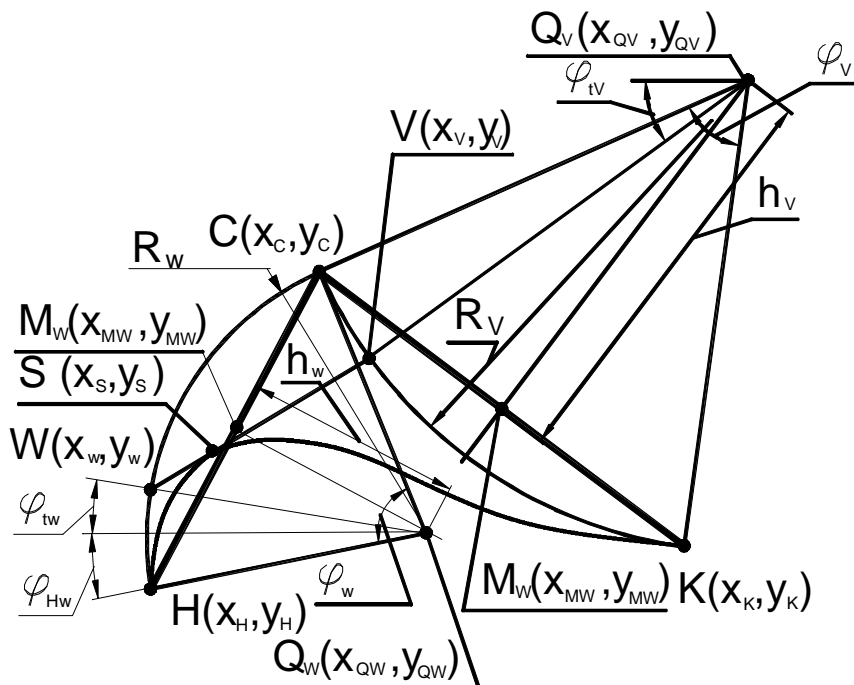


Рис. 4. Схема побудови сплайну типу WV

На рисунку 4 дотримано наступної системи індексації: параметри, котрі стосуються опуклої криволінійної напрямної включають індекс W , вгнутої – індекс V . Параметри, які стосуються опуклої криволінійної напрямної аналогічні аналітиці до рисунку 2 з врахуванням специфіки позначень, матеріал викладено без коментарів та пояснень.

$$x_w = x_{QW} - R_w \cos f_{tW},$$

$$\begin{aligned}
 y_W &= y_{QW} + R_W \sin f_{tW} \\
 x_{MW} &= x_H + 0,5(x_C - x_H), \\
 y_{MW} &= y_H + 0,5(y_C - y_H) \\
 h_W &= \sqrt{R_W^2 - (0,5 HC)^2}. \\
 k_{HC} &= (y_C - y_H)/(x_C - x_H), \quad k_{hW} = -(1/k_{HC}) \\
 x_{QW} &= x_{MW} + h_W \cos(\operatorname{arc} \operatorname{tg} k_{hW}), \\
 y_{QW} &= y_{MW} - h_W \sin(\operatorname{arc} \operatorname{tg} k_{hW}). \\
 f_t &= t \cdot f_W - f_H.
 \end{aligned}$$

Кут f_W визначається

$$\begin{aligned}
 f_{tW} &= t \cdot f_W - f_{HW}, \\
 f_{HW} &= \operatorname{arc} \operatorname{tg}((y_{QW} - y_H)/(x_{QW} - x_H)), \\
 f_W &= 2(\operatorname{arc} \sin(0,5HC/R_W)). \\
 HC &= \sqrt{(x_C - x_H)^2 + (y_C - y_H)^2}.
 \end{aligned}$$

Координати точки V визначаються наступним чином

$$\begin{aligned}
 x_V &= x_{QV} - R_V \cos f_{tV}, \\
 y_V &= y_{QV} - R_V \sin f_{tV} \\
 x_{MV} &= x_C + 0,5(x_K - x_C), \\
 y_{MV} &= y_C + 0,5(y_C - y_K) \\
 h_V &= \sqrt{R_V^2 - (0,5 KC)^2}. \\
 k_{KC} &= (y_K - y_C)/(x_K - x_C), \quad k_{hV} = -(1/k_{KC}) \\
 x_{QV} &= x_{MV} + h_V \cos(\operatorname{arc} \operatorname{tg} k_{hV}), \\
 y_{QV} &= y_{MV} + h_V \sin(\operatorname{arc} \operatorname{tg} k_{hV}). \\
 f_{tV} &= t \cdot f_V + \operatorname{arc} \sin((y_{QV} - y_C)/R_V). \\
 f_V &= 2(\operatorname{arc} \sin(0,5KC/R_V)). \\
 KC &= \sqrt{(x_C - x_K)^2 + (y_C - y_K)^2}.
 \end{aligned}$$

Варіант VW

Схема варіанта показана на рисунку 5. Аналітика до рисунка 5, як це було раніше для інших схем, приводиться без коментарів.

Координати точки V визначаються наступним чином

$$\begin{aligned}
 x_V &= x_{QV} + R_V \cos f_{tV}, \\
 y_V &= y_{QV} - R_V \sin f_{tV} \\
 x_{MV} &= x_C - 0,5(x_K - x_H), \\
 y_{MV} &= y_C - 0,5(y_C - y_H) \\
 h_V &= \sqrt{R_V^2 - (0,5 HC)^2}. \\
 k_{KC} &= (y_C - y_H)/(x_C - x_H), \quad k_{hV} = -(1/k_{KC}). \\
 x_{QV} &= x_{MV} - h_V \cos(\operatorname{arc} \operatorname{tg} k_{hV}), \\
 y_{QV} &= y_{MV} + h_V \sin(\operatorname{arc} \operatorname{tg} k_{hV}). \\
 f_{tV} &= f_V - t \cdot f_V - \operatorname{arc} \sin((y_C - y_{QV})/R_V). \\
 f_V &= 2(\operatorname{arc} \sin(0,5HC/R_V)). \\
 HC &= \sqrt{(x_C - x_H)^2 + (y_C - y_H)^2}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_W &= x_{QW} + R_W \cos f_{tW} \\
 y_W &= y_{QW} + R_W \sin f_{tW} \cdot \\
 x_{MW} &= x_K + 0,5(x_K - x_C) , \\
 y_{MW} &= y_K + 0,5(y_C - y_K) \cdot \\
 h_W &= \sqrt{R_W^2 - (0,5 KC)^2} . \\
 k_{HC} &= (y_C - y_K)/(x_C - x_K) , k_{hW} = -(1/k_{HC}) . \\
 x_{QW} &= x_{MW} - h_W \cos(\text{arc tg } k_{hW}) , \\
 y_{QW} &= y_{MW} - h_W \sin(\text{arc tg } k_{hW}) .
 \end{aligned}$$

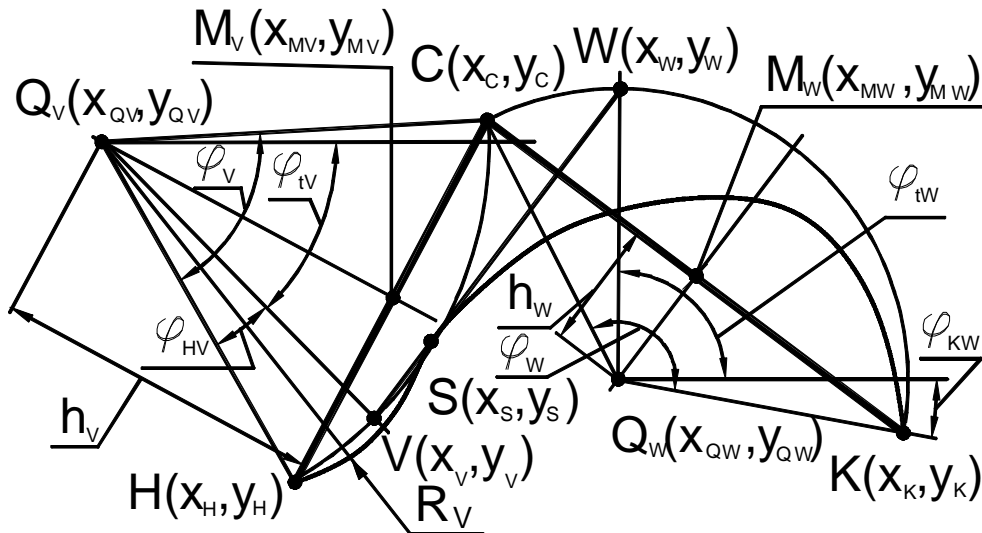


Рис. 5. Схема побудови сплайну типу VW

Кут f_W визначається

$$\begin{aligned}
 f_W &= 2 (\text{arc sin}(0,5KC/R_W)) \\
 f_{tW} &= f_W - t \cdot f_W - f_{KW} , \\
 f_{KW} &= \text{arc tg}((y_{QW} - y_K)/(x_{QW} - x_K)) , \\
 KC &= \sqrt{(x_C - x_K)^2 + (y_C - y_K)^2} .
 \end{aligned}$$

Всі інші можливі комбінації (LW, LV, WW, VV та інші) є окремими випадками вищевказаних і аналітика для них може бути розроблена, спираючись на наведене вище.

Звертаємо увагу на те, що на кожному з рисунків, не дивлячись на однакове положення керуючих точок, форма сплайну весь час змінюється, що ще раз вказує на переваги сплайнів з криволінійними напрямними, головна з яких полягає у більш гнучкій підгонці реальних абрисів деталей. Ще одна важлива обставина, яку слід враховувати – радіус кругової криволінійної напрямної повинен бути більшим половини довжини відповідної прямолінійної напрямної.

Наведений аналітичний апарат може бути використаний для розробки відповідного програмного продукту. Нижче наведено (рис. 7) приклад такого блоку для розрахунку однієї з координат (інша принципово не відрізняється) для схеми WL. Програма складена в обчислювальній системі MathCAD. На рисунку 6 представлено рисунок сплайна, координати якого розраховані за наведеною програмою.

Одночасно на рисунку 6 показані прямолінійні напрямні, в межах кута між ними повинен був би розташовуватись звичайний сплайн, що свідчить про принципово нові розширені можливості сплайнів з криволінійними напрямними у відтворенні складних абрисів деталей.

Висновки

Запропоновано метод профілювання абрисів деталей сплайновими кривими з круговими криволінійними напрямними, який забезпечує гнучкість керування формою криволінійних абрисів деталей, зниження порядку кривої значної складності, в тому числі – з кривизною різного знаку.

Розроблені аналітичні основи розрахунку координат точок сплайнових кривих з круговими криволінійними напрямними для основних комбінацій типів ділянок.

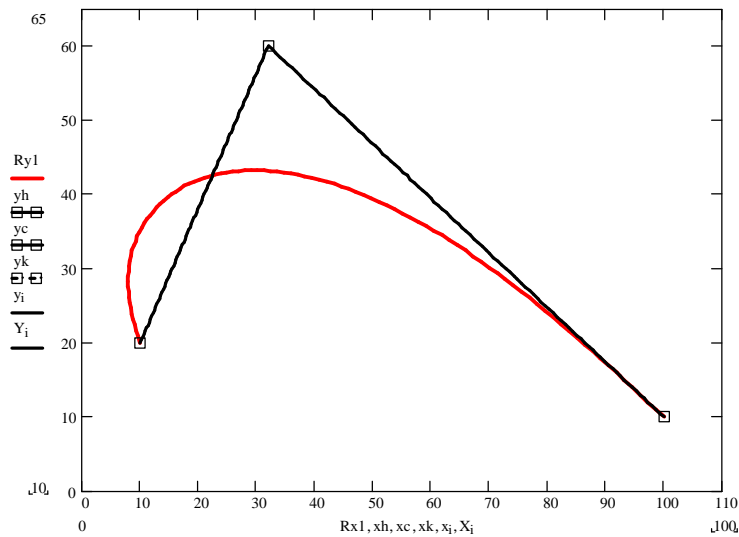


Рис. 6. Приклад сплайна з круговими криволінійними напрямними

Література

1. 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.
2. Калашніков, О. О. Геометричне та комп'ютерне моделювання компонентів спеціальної техніки швидкого реагування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка» / Калашніков Олександр Олександрович ; Таврійська державна агротехнічна академія. - Мелітополь, 2005. – 45 с
3. Белкин Е. А. Модульно-геометрический метод математического моделирования каркасной дискретно-определенной поверхности / Е. А. Белкин // Известия ТулГУ. Серия. Технологическая системотехника.. –Тула. – 2006. – Вып.4. – С.99-110.
4. Ткачевський Я.І. Використання структурних геометричних моделей для контролю форми літака / Я.І. Ткачевський // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – 2005. – Вип. 75. – С. 179-182.
5. Малкіна В. М. Геометричне моделювання поверхонь на основі спеціальних систем ортонормованих поліномів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка» / Малкіна Віра Михайлівна ; КНУБА. – К., 1999. – 16 с
6. Надопта Т. А. Моделювання профільних абрисів прототипу взуття з використанням кривих Безьє / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 6. – С. 222-226.
7. Надопта Т.А. Особливості формування габаритного сліду прототипу / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 4. – С. 247-252.
8. Скідан О.В. Теоретичні передумови аналітичного проектування взуття / О.В. Скідан, Т.А. Надопта, І.М. Пастух, // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 4. – 244-248.

```

KBx(R, xh, yh, xc, yc, xk, yk) :=
t ← 0
dt ← 0.01
x0 ← xh
y0 ← yh
t ← t + dt
i ← 1
HC ← [(xc - xh)² + (yc - yh)²]⁰.⁵
"R<0.5HC" if R < 0.5·HC
break if R < 0.5·HC
h ← [R² - (0.5·HC)²]⁰.⁵
xm ← xh + 0.5·(xc - xh)
ym ← yh + 0.5·(yc - yh)
khc ← (yc - yh) / (xc - xh)
kh ← (1 / khc)
xq ← xm + h·cos(atan(kh))
yq ← ym + h·cos(atan(kh))
fh ← atan[(yq - yh) / (xq - xh)]
fw ← 2·(asin(0.5·(HC/R)))
while t ≤ 1
    xl ← xc + t·(xk - xc)
    yl ← yc - t·(yc - yk)
    ft ← t·fw - fh
    xw ← xq - R·cos(ft)
    yw ← yq + R·sin(ft)
    xs ← xw + t·(xl - xw)
    xi ← xs
    ys ← yw + t·(yl - yw)
    yi ← ys
    i ← i + 1
    t ← t + dt
x
    
```

Рис. 7. Приклад програмного модуля для визначення координат сплайна з круговими криволінійними напрямними типу WL

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ З БІЧНОЮ УСТАНОВКОЮ БАГАТОГРАННИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ПЛАСТИН ДЛЯ СУДНОБУДІВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА СУДНОРЕМОНТУ

У статті виконано дослідження статичної жорсткості конструкції відрізного різця з бічною установкою БНП розрахунковими та експериментальними методами та зроблені висновки щодо раціональної методики отримання більш точних результатів розрахунку жорсткості

Ключові слова: збірний відрізний різець, багатогранна непереточувана різальна пластина, механічне кріплення.

M.V. BABIY

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

DETERMINATION OF STATIC HARDNESS CUTTING CHISEL WITH SIDE INSTALLING MULTIFACETED NEPERETOUCHUVANYH PLATES FOR THE SHIPBUILDING INDUSTRY AND SHIP REPAIR

Abstract - Studing the static rigidity of the cutting tool design with lateral installation multifaceted no-sharpening plates calculated and experimentally, the definition of rational methods to obtain more accurate results stiffness calculation for use in the design phase of this type of tool is the aim.

Simulation of a new strain state of the cutting plate with a universal software system gives results that are consistent with experimental data within 12%. The estimated error method makes comparison with experiment within 28%. Much larger displacement values obtained by calculations that can recommend the method of calculation used to determine the parameters of the previous plates "in reserve".

For more accurate results necessary to develop stiffness calculation methodology that considers and cutter plate as a layered structure.

Keywords: precast detachable cutter, multifaceted, requiring no sharpening plate, mechanical fastening.

Постановка проблеми у загальному виді і її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами. В сучасній машино- та суднобудівній промисловості, що стосується обробки металів різанням, найбільш прогресивним є збірний інструмент з механічним кріпленням багатогранних непереточуваних пластин (БНП). Однією з головних переваг даного виду інструменту є те, що при зношені однієї різальної кромки різальна пластина повертається навколо власної осі для роботи іншою, що значно скорочує час налагодження інструменту, оскільки в цьому випадку відсутня потреба у його знятті з різцетримача, що є досить актуальним для сучасних верстатів з числовим програмним керуванням та автоматизованих ліній. Варто додати, що збірний металорізальний інструмент у порівнянні із напайним не потребує операцій заточування, а отже і відповідного спеціалізованого для цього обладнання та висококваліфікованого персоналу. Застосування у промисловості збірного металорізального інструменту з механічним кріпленням БНП дозволяє підвищити продуктивність обробки, оскільки швидкість різання даного інструменту в 1,5 – 2 рази вище напайного. Тому широке використання збірного металорізального інструменту має важливе значення для сучасного машино-та суднобудування.

Однак для сучасних відрізних різців з механічним кріпленням використовуються здебільшого одно- або дволезові різальні пластини спеціальної нетехнологічної складної форми. Відрізні різці, що оснащені БНП три-, чотири- або п'ятигранної форми використовуються в основному для відрізки прутків діаметром до 12 мм внаслідок бічного кріплення різальних пластин до корпусу інструменту, що значно обмежує виліт різальної частини та, як наслідок, коло їх застосування.

У зв'язку з цим розробка та дослідження збірних відрізних різців, оснащених БНП простої технологічної форми з надійним кріпленням різальної пластини та вильотом різальної частини, що підвищить їх універсальність є актуальною і важливою науково-прикладною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій та визначення невирішених задач проблеми.

Питанням проектування, виготовлення, випробування та експлуатації відрізних різців присвячені праці Хаєта Г.Л. [1], Залогов В.О. [2], Міранцова С.Л. [1]. та ін. Однак у вказаних роботах не розглянуті питання, що пов'язані із проектуванням та експериментальним дослідженням збірних відрізних різців із механічним кріпленням БНП, особливостями установки та кріплення БНП, умовами роботи даного виду інструменту.

Постановка задачі. Для широкого впровадження даного виду інструменту у промисловість та з метою визначення його технологічних можливостей, необхідним на етапі проектування є його теоретичне та експериментальне дослідження. Оскільки одним із факторів, що ускладнює умови роботи відрізних різців є недостатня жорсткість різальної частини, *метою* даної роботи є дослідження статичної жорсткості конструкції відрізного різця з бічною установкою БНП [3] розрахунковими та експериментальними шляхами, визначення раціональної методики отримання більш точних результатів розрахунку жорсткості для використання її на етапі проектування даного виду інструменту.

Результати досліджень. Для виконання досліджень за методикою [4] було спроектовано та виготовлено відрізний різець з перерізом державки $B \times H = 20 \times 16$, що складається з корпусу, трьохгранної БНП,

прихоплювача, гвинта (рис. 1).



Рис. 1. Відрізний різець з бічною установкою БНП [4]

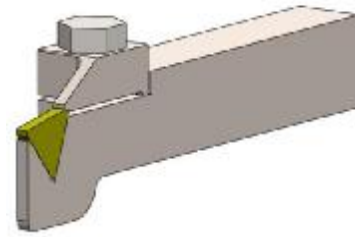


Рис. 2. Модель відрізного різця з бічною установкою БНП

Дослідження статичної жорсткості відрізних різців з бічною установкою БНП методом скінченних елементів виконували в середовищі SolidWorks – CosmosWorks (УПК – універсального програмного комплексу). Для цього була змодельована твердотільна конструкція досліджуваного відрізного різця (рис. 2). Далі для виконання дослідження, були задані вихідні дані для проведення розрахунку. Серед переліку пропонованих програмним середовищем типів аналізу обирався статичний. Після цього складовим елементам моделі інструменту задавалися відповідні марки матеріалів з їх механічними властивостями, що відповідають виготовленому досліджуваному зразку (табл.1).

Таблиця 1

Механічні властивості використовуваних матеріалів

Матеріал	Модуль пружності, Па	Коефіцієнт Пуассона	Модуль зсуву, Па
Сталь 35ХНТ	$2,14 \cdot 10^{11}$	0,28	$7,9 \cdot 10^{10}$
Твердий сплав Т15К6	$5,7 \cdot 10^{11}$	0,33	$7,8 \cdot 10^{10}$

Далі для розрахункової моделі інструменту була побудована скінченно-елементна сітка (рис. 3).

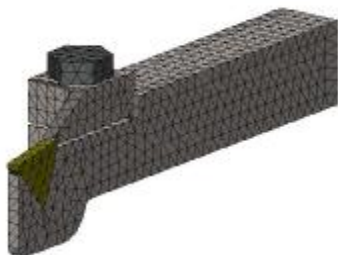


Рис. 3. Скінченно-елементна сітка на моделі відрізного різця

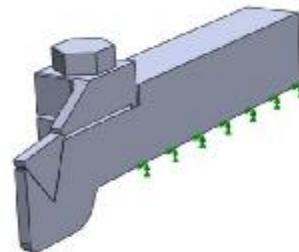


Рис. 4. Фіксація опорної поверхні державки

Потім складовим елементам моделі задавали відповідні їм обмеження: фіксація опорної поверхні державки (рис. 4), прикладення сили закріплення на різбовий отвір державки (рис. 5). Після цього вершину різальної пластини навантажували вертикальною силою (рис. 6) і виконували розрахунок.

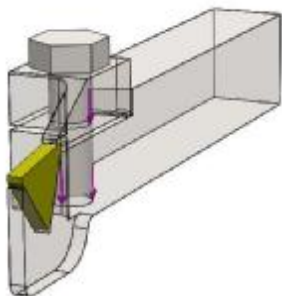


Рис. 5. Прикладення сили закріплення на різбовий отвір державки

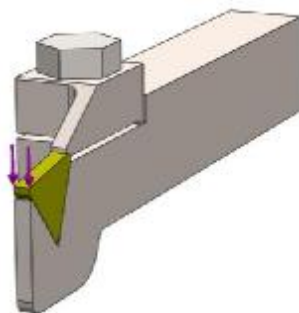


Рис. 6. Навантаження головної різальної кромки різця вертикальною силою

Розрахунок виконували, згідно з рекомендацією [4] для випадку, коли складові елементи моделі відрізного різця є окремими елементами та мають можливість переміщення один відносно іншого із заданим коефіцієнтом тертя $f=0,11$. Результати розрахунків представлені на рисунку 7.

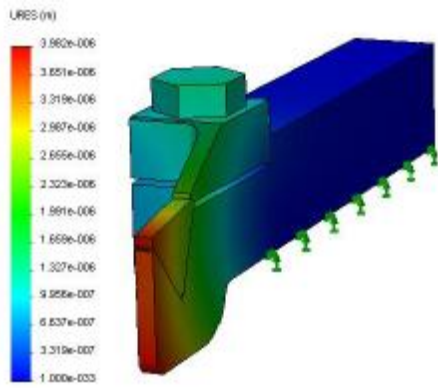


Рис. 7. Результати розрахунку переміщень складових елементів відрізного різця

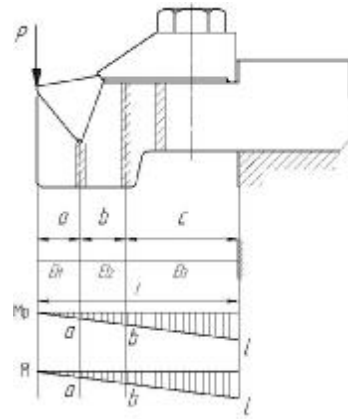


Рис. 8. Розрахункова схема для різця, як жорстко защемленої балки

Достовірність результатів розрахунків отриманих в універсальному програмному середовищі порівнювали з розрахунковими даними, що були отримані при розрахунку різця, як жорстко защемленої балки, розрахункова схема якої представлена на рисунку 8.

Згідно з розрахунковою схемою (рис. 8), величину переміщень голівки різця визначали по розрахунковій залежності:

$$W = \frac{a}{6EI_1} (2 \cdot 0 \cdot 0 + 2 \cdot a \cdot a + 0 \cdot a + 8 \cdot a) + \frac{b}{6EI_2} (2 \cdot a \cdot a + 2 \cdot (a+b) \cdot (a+b) + a \cdot (a+b) + (a+b) \cdot a) + \frac{c}{6EI_3} (2 \cdot (a+b) \cdot (a+b) + 2 \cdot l \cdot l + (a+b) \cdot l + l \cdot (a+b))$$

де E – модуль пружності, Па;
 I – момент інерції для прямокутного перерізу, см⁴.

Отримані розрахункові дані приведені в таблиці 2. З метою підтвердження працездатності запропонованого інструменту проводили експериментальні дослідження. Для проведення експерименту використовували дослідні зразки відрізних різців (див. рис. 1).

Дослідження виконували на універсальній випробувальній машині типу УМ – 5А (рис. 9). На активний захват машини монтували стіл із слюсарними лещатами, в яких закріплювали дослідний зразок відрізного різця. Для вимірювання переміщень голівки відрізного різця на столі була встановлена магнітна стійка з індикатором годинникового типу ИЧ 10 (рис. 10), який ніжкою підводився під досліджуваний елемент [4].



Рис. 9. Універсальна випробувальна машина типу УМ-5А з установкою для вимірювання переміщень голівки відрізного різця з бічною установкою БНП

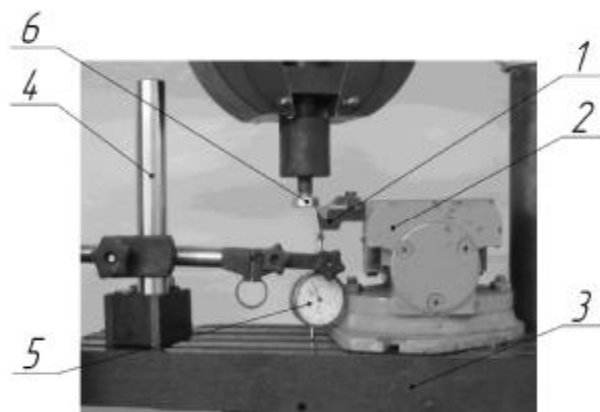


Рис. 10. Загальний вид установки для вимірювання переміщень голівки відрізного різця з бічною установкою БНП: 1 – відрізняльний різець; 2 – лещата; 3 – стіл; 4 – магнітна стійка; 5 – індикатор годинникового типу; 6 – натискний елемент

У верхній захват універсальної дослідної машини закріплювали натискний гвинт для навантаження відрізного різця (див. рис. 10). За допомогою вертикального переміщення рухомої траверси машини відбувалося навантаження відрізного різця вертикальною силою. Показники сили прикладеного гвинтом навантаження фіксувалися шкалою силівимірювача машини, а величини переміщення елементів різця –

індикатором.

Таблиця 2

Переміщення головки відрізного різця з бічною установкою БНП

Навантаження, Н		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Переміщення , мкм	Розраховані методом скінчених елементів	3,98	7,96	11,94	15,92	19,9	23,88	27,86	31,84	35,82	39,8
	Розраховані	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3	39,2	44,1	49
	Отримані експериментально	3,5	7,1	10,6	14,1	17,5	21,1	24,5	28,1	31,5	35

Результати досліджень представлені на рисунку 11.

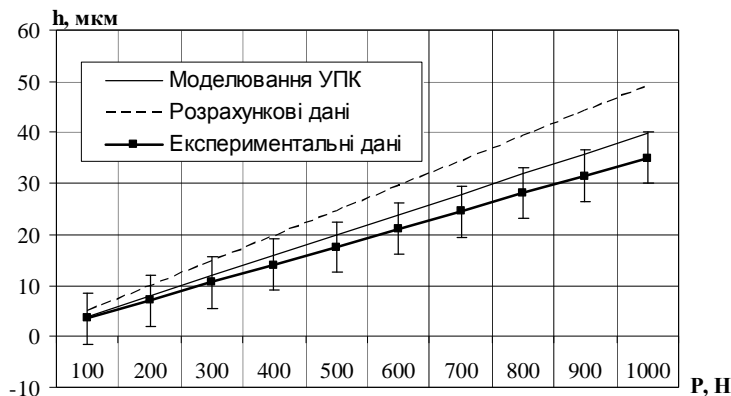


Рис. 11. Переміщення різальної частини відрізного різця з бічною установкою БНП

жорсткості необхідна
як шарувату конструкцію.

Висновки та перспективи використання.

Проведені дослідження показали, що моделювання деформованого стану нового відрізного різця за допомогою УПК дає результати, які співпадають з експериментальними даними у межах 12 %. Розрахункова методика дає похибку в порівнянні з експериментом у межах 28 %. Значно більші величини переміщень отримані розрахунковим шляхом, що дозволяє рекомендувати використану методику розрахунку для попереднього визначення параметрів різця «в запас». Для отримання більш точних результатів розрахунку розробка методики, що розглядає різець і пластину,

Література

1. Хаєт, Г.Л. Исследования распределения напряжений в режущей части отрезного резца с механическим креплением пластинки твердого сплава / Г.Л. Хаєт, Л.М. Миранцов // Технология и организация производства. – 1971. – №1. – С. 45 – 47.
2. Залого, В.А. К вопросу о повышении производительности обработки канавочными и отрезными резцами / В.А. Залого, Д.В. Криворучко, Д.А. Миненко, Н.П. Кутовой // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». – 2009. – №4. – С. 125 – 134.
3. Настасенко, В.А. Новые виды отрезных и канавочных резцов с многогранными твердосплавными неперетачиваемыми пластинами / В.А. Настасенко, М.В. Бабий // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вип. 38. – С. 150 – 157.
4. Матюха, П.Г. Токарні збірні різці підвищеної універсальності (конструкції та особливості проектування) / П.Г. Матюха, Ю.О. Гриньов. – Донецьк: ДонНТУ. – 2010. – 221 с.

Рецензія/Peer review : 23.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Букетов А.В.

В.И. МИРНЕНКО

Национальный университет обороны Украины им. Черняховского

Е.Н. ЛISOVOY

Государственное авиационное предприятие «Украина»

С.С. БЫС

Хмельницкий национальный университет

ТРЕНИЕ И ИЗНОС ГЕТЕРОГЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДУЮ СМАЗКУ, В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА

Наведено результати експериментальних досліджень у вакуумі характеристик тертя та зношування детонаційних покриттів $FeAl_2-Ti-Si$, які у складі містять структурно вільний дисульфід молибдену. Вивчено закономірності тертя досліджуваних покриттів, надано порівнювальні результати їх опору зносу з аналогічними даними детонаційних покриттів типу ВК15 та зразків, що зазнали дифузійного зміцнення.

Ключові слова: детонаційні покриття, зносостійкість, поверхневі шари, структурна пристосованість, дисульфід молибдену, вакуум.

V.I. MIRONENKO

National University of Defense of Ukraine, Chernyakhovsky

E.N. LISOVY

State Aviation Enterprise "Ukraine"

S.S. BYS

Khmelnytsky National University

FRICITION AND WEAR OF HETEROGENEOUS DETONATION COATINGS CONTAINING SOLID LUBRICANTS IN A VACUUM

Abstract – Wear resistance of detonation alloyed $FeAl_2-Ti-Si$ coatings in vacuum is studied in the aspect of the possibility to be improved due to introduction of dry-film lubricant MoS_2 into the initial powder. Molybdenum disulphide in the coating material, favors formation of the protective film in vacuum. This film effectively screens the contacting surfaces preventing from the adhesive interaction, which delays wearing and impedes development of adhesion. Such coatings can be used in friction units operating under vacuum conditions.

Keywords: detonation coating, wear resistance, surface layers, structural adaptability, molybdenum disulphide, vacuum

Вступление. Одним из направлений отечественного триботехнического материаловедения является использование недорогостоящих и недефицитных компонентов из ресурсной базы страны для разработки конструкционных материалов с существенным улучшением их структуры и повышением физико-механических свойств, в том числе и материалов покрытий.

Несмотря на достигнутые результаты, решение проблемы повышения эксплуатационной надежности и динамической долговечности пар трения за счет применения функциональных покрытий отстает от требования практики. При этом особенно важными остаются вопросы обеспечения их износостойкости и поверхностной прочности в экстремальных условиях эксплуатации, к которым относятся не только предельно высокие нагрузки и скорости перемещения, но и влияние окружающей среды, в частности, вакуума, где применение традиционных смазок ограничено [1].

В научной литературе нет достаточного количества обоснованных сведений о влиянии отдельных структурных составляющих композиционных порошковых материалов на прочностные свойства детонационных покрытий. И практически отсутствуют данные, отражающие влияние дисульфида молибдена на износостойкость детонационных покрытий в условиях вакуума. До настоящего времени основным способом разработки покрытий остается эмпирический поиск зависимостей состав-свойства.

В летательных аппаратах к деталям, подвижные сопряжения которых в процессе эксплуатации при нагружении трением подвергаются изнашиванию, приводящему к повреждаемости вследствие заедания и схватывания, относятся работающие в условиях разреженной атмосферы подшипники, зубчатые и фрикционные передачи, направляющие скольжения, торцевые опоры, пары с возвратно-поступательным перемещением, шарнирно-болтовые сопряжения, детали систем управления [2]. Обслуживание и поддержание их эксплуатационной готовности является одной из важнейших инженерно-технических задач систем обслуживания и ремонта авиационной техники [3].

Цель работы. Анализ результатов испытаний в условиях вакуума разработанных детонационных покрытий системы $FeAl_2-Ti-Si$, которые дополнительно содержат в качестве антифрикционного компонента добавки твердой смазки виде диспергированного дисульфида молибдена.

Методика исследований. Материалы для напыления готовили по методике, изложенной в работе [4]. Частицы твердой смазки, соответствующие фракциям 3-10 мкм, смешивали мокрым способом с исходными металлическими порошками, затем смесь сушили, до полного удаления влаги. Детонационно-газовое покрытие осуществлялось по технологии и на оборудовании, разработанном в ИПМ НАНУ. Толщина напыленного слоя после обработки составляла 0,20-0,25 мм, шероховатость $R_a=0,63-0,32$, прочность сцепления с основой $\sigma_{сц}=87,5$ МПа. Испытания в условиях вакуума проводились на установке

предназначенной для лабораторно-экспериментальной оценки триботехнических характеристик и контроля качества триботехнических материалов [5]. Исследование поверхностной прочности покрытий при трении, их склонность к схватыванию и степень трибоактивации оценивались по интенсивности износа в вакууме (при разрежении $1,33 \cdot 10^{-5}$ Па). Характеристики трения и изнашивания исследуемых композиционных покрытий сравнивались с аналогичными значениями характеристик широкого применения износостойких покрытий типа VK15 и поверхностных слоев, полученных в результате диффузионного легирования бором, ванадием и хромом.

Результаты исследований и обсуждения результатов. При сравнении с данными испытаний покрытий в условиях нормального атмосферного давления [6] с результатами исследования их износостойкости в вакууме, следует отметить, что в связи с увеличением разрежения воздуха и уменьшением пассивирующей способности среды проявляются качественные отличия закономерностей трения, которые обуславливают значительные количественные изменения триботехнических явлений, протекающих в контактной зоне.

Результаты испытаний представлены на рисунке 1 в виде зависимостей интенсивностей изнашивания как функции значений скорости скольжения при нагрузке равной 2,5 МПа, позволяющей максимально приблизить процессы физико-химической механики трения к реальным условиям эксплуатации.

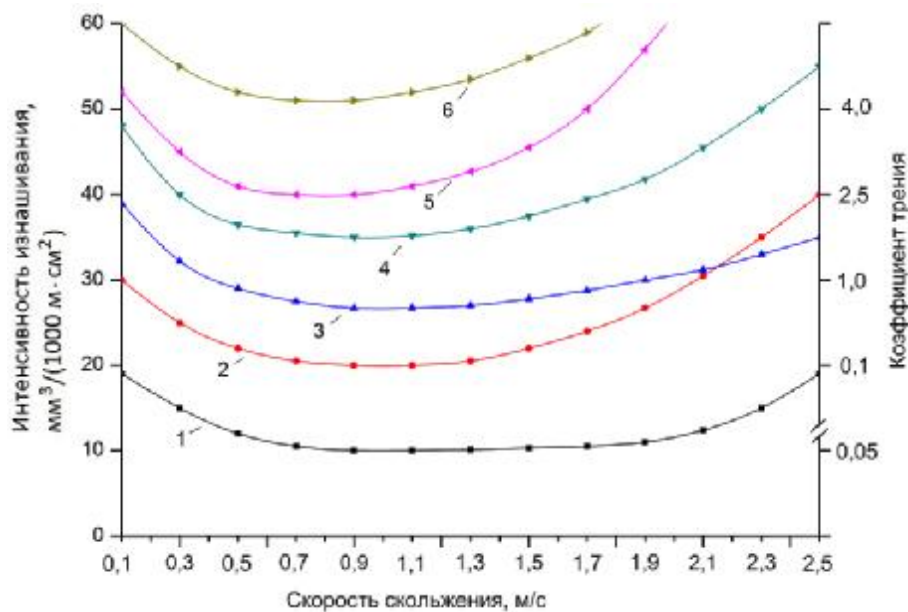


Рис. 1. Зависимость интенсивности изнашивания от скорости скольжения ($P=2,5$ МПа): 1 – покрытие FeAl₂-Ti-Si-MoS₂, 2 – покрытие твердого сплава VK15, 3 – ванадиеванные образцы, 4 – хромованные образцы, 5 – покрытие FeAl₂-Ti-Si, 6 – борированные образцы.

Высокая износостойкость при данных условиях трения покрытий FeAl₂-Ti-Si-MoS₂, (кривая 1) обусловлена структурной приспособляемостью, которая как универсальное явление реализуется, во-первых, за счет структурно-свободного дисульфида молибдена, который обеспечивает в процессе трения создание защитной пленки (рис. 2.). Данные металлографического анализа и изучение поверхностей трения подтверждают наличие пассивирующей твердофазной смазочной пленки дисульфида молибдена, препятствующей адгезионному взаимодействию ювенильных поверхностей, при этом отдельные очаги разрушений локализируются в тонких приповерхностных слоях и аннигилируют в процессе зернограничного скольжения исключая любые виды повреждаемости.

Во-вторых, склонность покрытия к пассивации обеспечивается протеканием в данных условиях трения диффузионных и трибохимических реакций компонентов с образованием ультрадисперсных фаз (рис. 3).

На представленной микродифракционной картине от поверхности трения видны кристаллические области – электронограмма содержит четкие рефлексы, соответствующие мелкокристаллической ориентированной структуре. При изучении характера и закономерностей образования поверхностного слоя, обуславливающего сопротивление износу, было установлено, что он представляет композиционную тонкодисперсную квазислоистую структуру на основе MoS₂, армированную интерметаллидами Ti₃Al, Fe₃Si, Fe₂Al₅, Ti₅Si₃, кроме того халькогенид молибдена в результате трибохимического взаимодействия с деформационным поверхностным слоем образует сульфиды FeS, TiS, что создает благоприятные предпосылки к существенному повышению износостойкости и, как установлено, увеличение несущей способности.

Изменение структуры твердофазных поверхностных пленок вызывает изменение коэффициента трения, который во всем диапазоне испытания (рис. 1.) составляет 0,05-0,09. По мнению авторов в данных

условиях значения коэффициента трения являются не столько функцией нормальной нагрузки, сколько функцией трибофизических процессов, возникающих в результате аддитивного сочетания нагрузки, скорости скольжения, температуры и обобщенного вектора параметров трения (материалов, среды, условий и т.п.). Таким образом, твердосмазочная поверхностная пленка или активный подповерхностный слой, кроме антифрикционного действия обладает и антикоррозийными свойствами, что в данных условиях трения обеспечивает высокую стойкость покрытий $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si-MoS}_2$ против износа в вакууме.

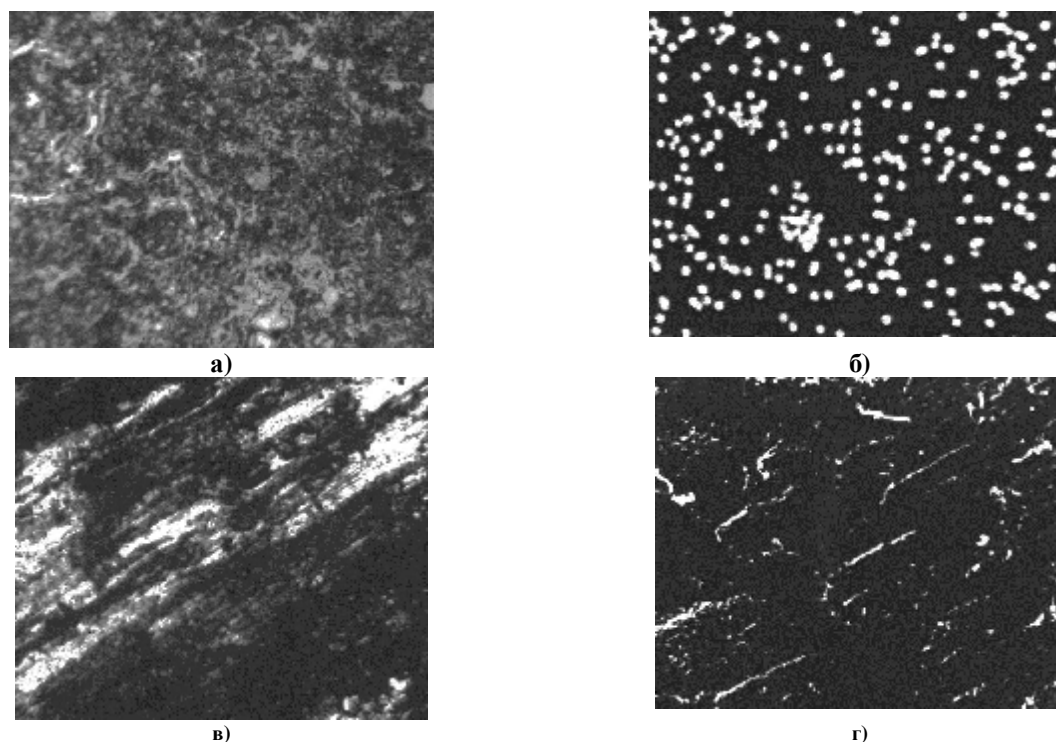


Рис. 2. Поверхность трения покрытия $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si-MoS}_2$: а) исходное состояние, б) структура в рентгеновском излучении MoS_2 K_{α} , в) после испытаний на трение при $V=0,3$ м/с, $\times 320$, г) после испытаний на трение при $V=2,3$ м/с, $\times 320$.

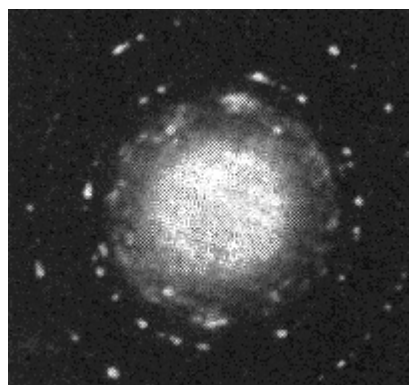


Рис. 3. Электронограмма от поверхности трения покрытия $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si-MoS}_2$, испытанных при $V=1,5$ м/с, $P=5,0$ МПа.

Для покрытий $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si}$, в составе которых отсутствует дисульфид молибдена (кривая 5), характер изменения интенсивности изнашивания и зависимость коэффициента трения от скорости существенно изменяется.

С целью изучения поверхностного слоя, в котором протекают процессы активирования, использован электронографический анализ, выполненный на установке типа ЭРМ (съемка на отражение при $U=35$ кВ). Электронограмма (рис. 4.), фиксирующая изменение тонкой структуры, показывает, что в поверхностном слое происходит диспергирование с измельчением кристаллитов, о чем свидетельствует наличие максимумов интенсивностей на диффузионных ореолах. Исследуемый тонкопленочный объект представляет ультрадисперсную ориентированную структуру тонкого поверхностного слоя, соответствующего $1000\text{-}5000$ Å.

Необходимо отметить, что для покрытий $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si}$ при скоростях скольжения менее $0,9$ м/с имеют место минимальные параметры трения. Износостойкость покрытий обеспечивается при этом созданием разделяющего ювенильные поверхности тонкопленочного объекта, представляющего собой продукт бескислородных структур на основе металлических фаз химических элементов, входящих в состав покрытия, природа организации которых в условиях дефицита кислорода, по нашему мнению связана, с фазовыми превращениями, когда в результате механотермического легирования и фрикционной закалки

формируются безкислородные поверхностные структуры по механизму образования и свойствам близкие к строению мартенситных фаз. При этом поверхностные структуры, образованные в экстремальных температурно-временных и нагрузочных условиях по мартенситному механизму, по механическим свойствам отличаются от свойств мартенсита закалки, полученного традиционной термообработкой. Так, твердость мартенсита после термической обработки составляет $\sim 7,5-9,5$ ГПа, а соответствующие значения для мартенситных структур, образованных на поверхностях трения, достигают $\sim 10,5-13,5$ ГПа.

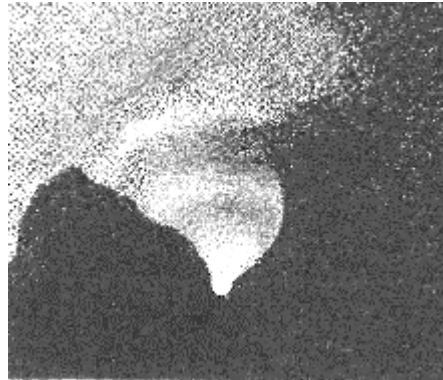


Рис. 4. Электронограмма от поверхности трения покрытия $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si}$.

При скоростях испытаний более 1,0 м/с нарушается термодинамический баланс системы трения и происходят необратимые изменения свойств твердофазной поверхностной пленки в результате деструкции и распада поверхностного мартенсита, что приводит к утрате защитных функций тонкопленочного объекта и потере экранирующей способности. Ведущим видом изнашивания покрытий становится развивающийся процесс схватывания. На рисунке 5 представлена кинетика разрушения поверхностных слоев покрытия $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si}$ в зависимости от скорости испытаний.

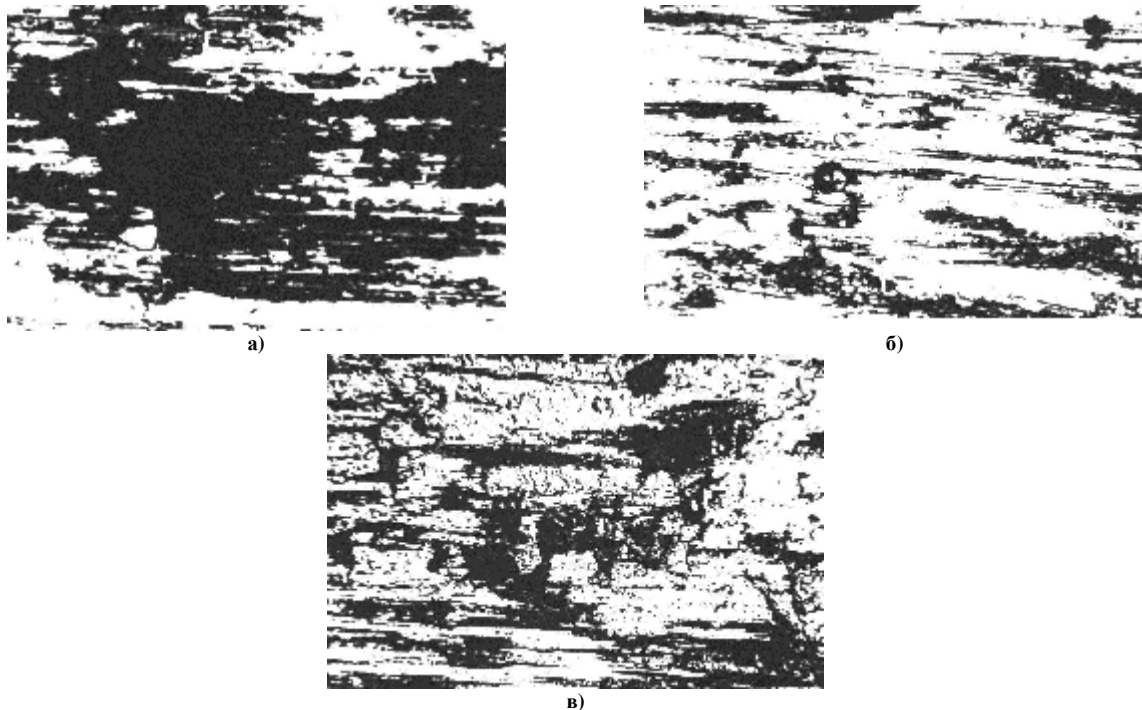


Рис. 5. Поверхность трения покрытия $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si}$, испытанного при (x320): а) 0,9 м/с, б) 1,3 м/с, в) 1,7 м/с ($P=2,5$ МПа).

Высоким сопротивлением износу обладают покрытия, напыленные порошком твердого сплава типа ВК15 (кривая 2). Как известно, покрытия ВК15 представляют собой классическую структуру антифрикционного материала [7]. Повышенная износостойкость твердосплавных покрытий обусловлена как природой входящих в них компонентов, так и структурой. Однако при скоростях скольжения более 1,0 м/с на стойкость покрытий начинает оказывать влияние температура как основной сильнодействующий рабочий параметр [8].

Из образцов, подвергнутых диффузионному легированию, наименьший износ соответствует ванадированным поверхностям трения (кривая 3), что связано с образованием рабочего слоя, насыщенного карбидами ванадия, характеризующегося высокими механическими свойствами, в частности твердостью и тугоплавкостью [9], причем наряду с карбидами VC образуются карбиды V_2C , обладающие гексагональной

плотнупакованной кристаллической решеткой, кроме того в поверхностном слое возникают сжимающие напряжения, также способствующие повышению прочности.

Характер изнашивания стальных образцов, упрочненных путем термодиффузионного хромирования (кривая 4), аналогичен общим закономерностям изнашивания ванадированных сталей. Повышенные значения износа хромированных образцов обусловлены склонностью к схватыванию, вызванной сравнительно высокой поверхностной прочностью при трении в вакууме [10].

Выводы. Трудности получения и накопления методически оправданных и статически достоверных триботехнических исследований сдерживают разработку и внедрение покрытий и представляются на сегодня актуальной частью общей проблемы повышения надежности и ресурса в машиностроении.

Основное влияние на развитие прикладных аспектов науки оказывают требования практики. Разработанные для нужд практики исследуемые детонационные покрытия $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si-MoS}_2$ показали высокие триботехнические характеристики во всем диапазоне испытаний, моделирующих работу узла трения в условиях разреженной атмосферы. При этом средством регулирования износа и обеспечения высокой антифрикционности покрытий в вакууме является применение в их составе твердосмазочного материала, через структуру оказывающего влияние на уровень адаптации при трении за счет модификации поверхностных слоев, способных блокировать разрушение и экранировать недопустимые процессы схватывания.

В заключении отметим, что разработка триботехнических материалов покрытий на базе ресурсно-сырьевых возможностей страны и испытания с целью определения их оптимальных технико-экономических условий применения, является необходимостью технического и социального развития общества.

Литература

1. Носовский И.Г. Влияние газовой среды на износ металлов / И.Г. Носовский . – К.: Техника, 1988. – 179с.
2. Гаркунов Д.Н. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов / Д.Н. Гаркунов, А.А. Полякова. – М.: Машиностроение, 1989. – 200с.
3. Кудрін А.П. Ремонт повітряних суден та авіаційних двигунів/ А.П. Кудрін, Г.М. Зайвенко, Г.А. Волосович, В.Д. Хижко. – К.: НАУ, 2003. – 491с.
4. Лисовой Е.Н. Износостойкость детонационных покрытий $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si}$, содержащих дисульфид молибдена / Е.Н.Лисовой, В.И.Мирненко, С.С.Бысь // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – №3. – С.124-129.
5. Полотай В.В. Машина трения М-22ПВ / В.В. Полотай. – К.: Знание,1988. – 20с.
6. Лисовой Е.Н. Сопротивление износу детонационных покрытий системы $\text{FeAl}_2\text{-Ti-Si}$ при трении без смазки / Е.Н. Лисовой // Проблемы техники. – 2012. – №4. – С. 46-54.
7. Зверев А.И. Детонационное напыление покрытий / А.И. Зверев, Ю.С. Шаривкер, Е.А. Астахов. – Л.: Судостроение, 1979. – 230с.
8. Носовский И.Г. Износостойкость детонационных покрытий в экстремальных условиях/ И.Г. Носовский, В.Х. Кадыров, В.В. Щепетов. – К.: Техніка, 1986. – С. 46-51.
9. Носовский И.Г. Исследование трения и изнашивания некоторых диффузионных и детонационных покрытий в вакууме / И.Г. Носовский, В.В. Щепетов. – Трение и износ. – 1986 . – №5. – С.796-800.
10. Носовский И.Г. Влияние борирования хромомарганцовистокремниевых сталей на их износостойкость при трении в вакууме / И.Г. Носовский, Е.А. Миронов. – Проблемы трения и изнашивания. – К.: Техніка, 1988. –С.48-50.

Рецензія/Peer review : 15.10.2015 р.

Надрукована/Printed :1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ОЦІНКА ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ З НАНОВКЛЮЧЕННЯМИ НІТРИДІВ

В роботі досліджено трибологічні характеристики композиційних електрохімічних покриттів на основі нікелю з включеннями нітридів в режимі граничного мащення. Досліджено вплив природи нанорозмірних нітридів та термічної обробки покриттів на їх трибологічні властивості.

Ключові слова: композиційні електрохімічні покриття, термічна обробка, нанопорошки, нітриди бору, нітриди титану, нітриди силіцію, зносостійкість.

N.M. YAVORSKA, S.YA. PIDGAYCHUK, O.S. DROBOT
Khmelnyskyi National University

THE EVALUATION OF WEARABILITY OF COMPOSITIONAL ELECTROCHEMICAL COATING ON THE BASIS OF NICKEL WITH THE ADDITION NANOPARTICLES OF NITRIDES

Abstract – This article is devoted to problem of the tribological characteristics of the compositional electrochemical coatings (CEC) with the addition of nanopowders.

The object of researches are compositional electrochemical coatings on the basis of nickel with the addition of nanopowder nitrides boron and mixture of the nitrides titanium and silicium. The 20 micrometers of the coatings thickness are chosen. The coatings are got by the diffusive annealing of the preliminary inflicted CEC.

The properties of the compositional electrochemical coatings with the addition of nanostructures are studied and their advantages in comparison to the galvanic nickel coatings by frays intensity are shown.

Keywords: compositional electrochemical coating, heat treatment, nanopowders, nitrides boron, nitrides titanium, nitrides silicium, wearability.

Вступ

В умовах інтенсифікації виробництва зміцнення поверхні деталей машин є частиною проблеми підвищення надійності та довговічності об'єктів машинобудування. Досить часто деталі працюють в екстремальних умовах: підвищені навантаження та температури, вплив агресивних середовищ, що призводить до їх поверхневого руйнування. Для розв'язання даних проблем потрібні матеріали із підвищеними експлуатаційними властивостями поверхневих шарів.

Ефективним є формування на поверхні виробів зносостійких нашарувань із заданим комплексом властивостей, які можна отримати при поєднанні методу електролітичного осадження композиційних електрохімічних покриттів (КЕП) з наступним дифузійним відпалом отриманого гальванічного шару. Таке поєднання дозволяє усунути недоліки електролітичного способу (виникнення внутрішніх напружень, наводнювання основи, низька адгезія покриття з основою) та дає змогу передбачити зміни структури, забезпечити надання покриттям певних експлуатаційних властивостей.

Ефективним є застосування гальванічних покриттів на основі нікелю, що зумовлене високою продуктивністю існуючих технологій з нанесення гальванічних покриттів, можливістю співосадження нікелю та інших легуючих добавок. Так формування гальванічних шарів з включеннями дисперсних частинок тугоплавких нітридів, карбідів, оксидів дозволяє підвищити зносостійкість поверхневого шару, внаслідок поєднання пластичної металевої матриці та термостійких хімічних сполук. Особливо це стосується КЕП, добавками в яких є зміцнюючі нанорозмірні порошки.

Проведений аналіз публікацій дозволив отримати перелік низки складів КЕП на основі нікелю, які запропоновані Гуслєнком Ю.О., Лучкою М.В., Кіндрачуком М.В., Корнієнком А.О., Федорчуком С.В. та ін. Для досягнення потрібних властивостей авторами запропоновано використовувати нанодисперсні частинки аморфного бору, наночастинки SiC та гранули евтектичного жаростійкого сплаву твердого мастила MoS₂, CaF₂ (1-10 мкм), різнодисперсні порошки карбідів бору, вольфраму, кремнію, титану, нітридів кремнію, бору, титану та інші матеріали [1, 2].

Експериментальна частина

Нами отримані покриття на основі нікелю з включеннями нанодисперсних порошоків нітриду бору (розмір частинок BN досягав 0,01 мкм) і сумісно синтезованої композиції нітриду титану та нітриду кремнію (70% TiN+30% Si₃N₄ з розміром частинок 0,01–0,05 мкм). Вміст наночастинок у покритті складав до одного вагового відсотку. КЕП товщиною 20 мкм осаджені на зразки із сталі 08 [3]. Для підвищення механічних, адгезійних і трибологічних властивостей КЕП та утворення перехідної зони з більш рівноважною структурою нами запропоновано проведення термічної обробки (відпалу) дослідних зразків при більш високій температурі у середовищі вакууму.

Одним із показників ефективності запропонованих покриттів є отримання їх високих трибологічних характеристик. Для визначення цих характеристик були проведені дослідження зносостійкості КЕП на основі нікелю з добавкою нанопорошку нітриду бору та суміші нітридів титану і силіцію (до і після термічної обробки), та були отримані порівняльні дані зносостійкості гальванічних нікелевих покриттів.

Дослідження на знос проводились в умовах зворотно – поступального руху за схемою контакту «сфера – площина», на установці ЗНМ – 25 (рис. 1) в режимі граничного мащення (дизельне мастило) [4]. Вибрані умови тертя дозволили інтенсифікувати процес зносу, зробити його більш жорстким, відповідно отримати трибологічні характеристики матеріалу (зносостійкість та інтенсивність зношування) за менш короткий термін випробувань.

Експериментальна установка ЗНМ – 25 відповідає наступним вимогам: вільне від люфтів кріплення зразків; наявність віброковзючого руху; наявність нормальної сили, яка контролюється для створення контактного тиску; низька деформація пристрою; що дало можливість отримати достовірні результати процесу реверсивного зносу.

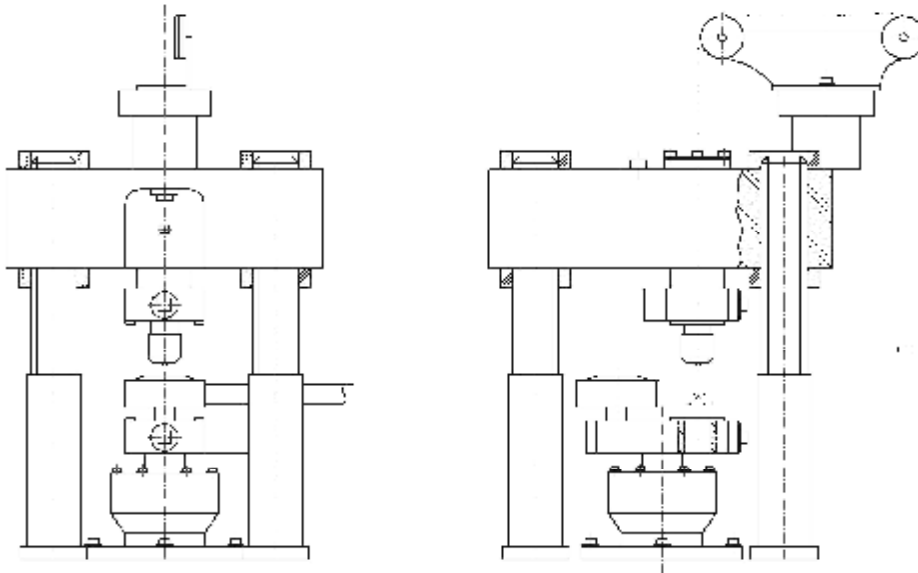


Рис. 1. Експериментальна частина установки ЗНМ – 25

Установка ЗНМ – 25 має наступні технічні характеристики: контроль кількості циклів здійснюється механічним лічильником; швидкість обертання та частота циклів вимірюється тахометром; амплітуда мікропереміщення визначається за допомогою індуктивних датчиків; момент тертя вимірюється за допомогою тензодатчиків;

Дослідження за схемою сфера – площина проводили за наступних умов: контр тіло – кулька із сталі ШХ15 ($\varnothing = 12,7 \text{ мм}$, рис. 2); рух ковзання – зворотно-поступальний; амплітуда циклу взаємного ковзання $v_s = 2 \text{ мм}$; нормальне навантаження $Q_H = 1 \text{ кгс}$; частота пульсації 50 Гц; час досліджень 2 години; шлях тертя $S = 100 \text{ м}$ (25000 циклів); ширину канавки витирання заміряли через кожних 25 м (6250 циклів).

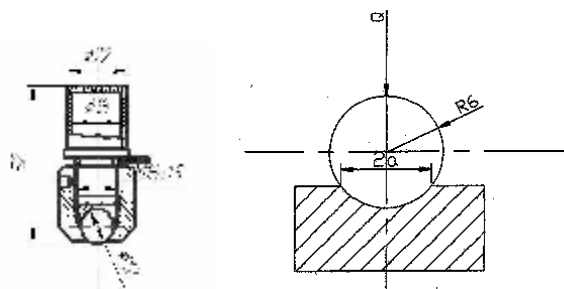


Рис. 2. Контр тіло та схема контакту

Перед проведенням експерименту поверхня зразків знежирювалась бензином та ацетоном і просувувалася фільтрувальним папером. Ширина канавки зносу визначалась за допомогою мікроскопу ПМТ – 3 при збільшенні в 462 рази.

Параметри найпростішої моделі зносу визначались за формулою [5]:

$$\frac{du_w}{ds} = k_w s^m, \tag{1}$$

- де u_w – знос зразка, м;
 k_w, m – параметри моделі зношування;
 s – шлях тертя, м;
 a – ширина канавки зносу, мкм;

s – тиск при заданій площі контакту, МПа ($s = \frac{Q}{pa^2}$).

Для визначення параметрів нелінійних моделей фретинг-процесу, при не зношуваній кульці, використано наступне рівняння [6]:

$$a(s) = \left[(2m+2) Rk_w u_s \left(\frac{Q}{p} \right)^m s \right]^{\frac{1}{2m+2}} \quad (2)$$

або

$$[a(s)]^{2m+2} = (2m+2) Rk_w u_s \left(\frac{Q}{p} \right)^m s. \quad (3)$$

Проведено два досліді ($s^{(1)}$, $a(s^{(1)})$) та ($s^{(2)}$, $a(s^{(2)})$), які дозволили записати наступні залежності для ширини канавки в залежності від шляху тертя:

$$[a(s^{(1)})]^{2m+2} = (2m+2) Rk_w u_s \left(\frac{Q}{p} \right)^m s^{(1)}; \quad (4)$$

$$[a(s^{(2)})]^{2m+2} = (2m+2) Rk_w u_s \left(\frac{Q}{p} \right)^m s^{(2)}.$$

З відношення наведених рівнянь:

$$\left[\frac{a(s^{(1)})}{a(s^{(2)})} \right]^{2m+2} = \frac{s^{(1)}}{s^{(2)}}. \quad (5)$$

отримали

$$m = \frac{1}{2} \left[\frac{\ln \frac{s^{(1)}}{s^{(2)}}}{\ln \frac{a(s^{(1)})}{a(s^{(2)})}} - 2 \right]. \quad (6)$$

З першого рівняння системи (4) знайшли другий параметр:

$$k_w = \frac{[a(s^{(1)})]^{2m+2}}{(2m+2) R u_s \left(\frac{Q}{p} \right)^m s}. \quad (7)$$

При великих амплітудах $u_s > 100$ мкм залежністю зношування від амплітуди можна знехтувати.

Отримані параметри дозволили розрахувати зношування за формулою [7]:

$$u_w = \frac{k_w \cdot S^m \cdot s}{m+1}. \quad (8)$$

Інтенсивність зношування знайдено, згідно [5], за формулою:

$$I_w = k_w S^m. \quad (9)$$

Склад покриттів, режими відпалу та дані результатів досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

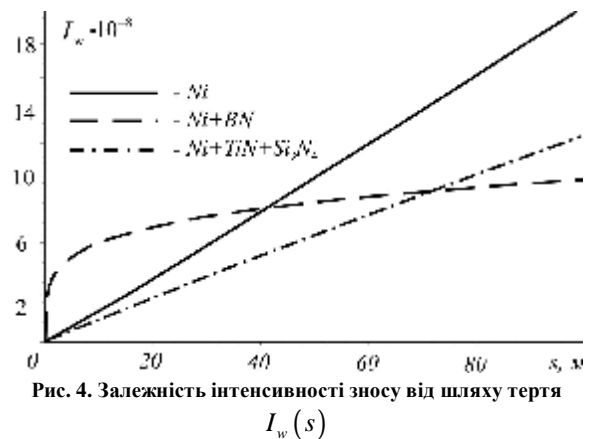
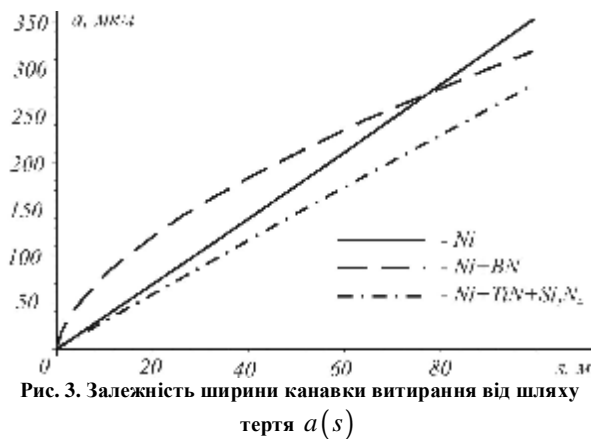
Результати експериментальних досліджень покриттів на зношування

Матеріал покриття	Режими відпалу		Ширина канавки після тертя, $2a$, мкм	Величина зносу, u_w , мкм
	$T, ^\circ C$	$t, \text{год}$		
1	2	3	4	5
Ni	Без відпалу		529	22
Ni	760	1	453	17,1
Ni	760	2	430	15,2
Ni	760	3	416	15,4
Ni	860	1	427	15,5
Ni	860	2	388	17
Ni	860	3	368	19,8
Ni + BN	Без відпалу		537	8,4
Ni + BN	760	1	492	4,7

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
<i>Ni + BN</i>	760	2	446	2,8
<i>Ni + BN</i>	760	3	426	1,8
<i>Ni + BN</i>	860	1	446	3,5
<i>Ni + BN</i>	860	2	374	1,5
<i>Ni + BN</i>	860	3	354	2,4
<i>Ni+(TiN+Si₃N₄)</i>	Без відпалу		431	13,8
<i>Ni+(TiN+Si₃N₄)</i>	760	1	341	13,7
<i>Ni+(TiN+Si₃N₄)</i>	760	2	328	11,7
<i>Ni+(TiN+Si₃N₄)</i>	760	3	323	10,1
<i>Ni+(TiN+Si₃N₄)</i>	860	1	333	13,1
<i>Ni+(TiN+Si₃N₄)</i>	860	2	315	10,1
<i>Ni+(TiN+Si₃N₄)</i>	860	3	304	8,2

На рисунках 3, 4 наведені графіки залежностей: параметра *a* (половина ширини канавки витирання), інтенсивності зносу – *I_w* і зносу – *u_w* від шляху тертя (25м – 6250, 50м – 12500, 75м – 18750, 100м – 25000 циклів відповідно) для гальванічних нікелевих покриттів без добавок та з нанодисперсними включеннями.



Слід відмітити, що із збільшенням шляху тертя (25, 50, 75, 100 м) для всіх досліджуваних покриттів спостерігалось збільшення ширини канавки витирання (параметра *a*, рис. 5). На рисунку 5 представлено фото поверхні зразку гальванічного нікелевого покриття з включеннями нітриду бору після тертя.

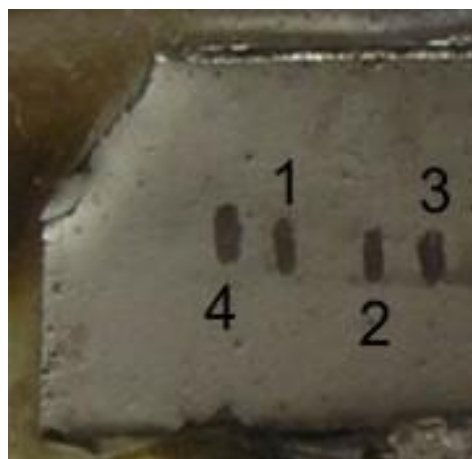


Рис. 5. Поверхня зразка КЕП з включеннями нітриду бору після тертя, ширина сліду тертя: 1 – після 6260 циклів (25 м); 2 – 12500 (50м); 3 – 18750 (75м); 4 – 25000 (100м).

Проведені дослідження покриттів без відпалу (табл. 1, рис. 6) показали, що найменший знос мають зразки матриця-покриття яких містить нановключення нітриду бору – *u_w* = 8,4 мкм. Очевидним є те, що введення в матрицю покриття нанодисперсних включень підвищило зносостійкість покриттів 1,6 – 2,6 рази.

Якісно відмінним є характер інтенсивності зношування отриманих покриттів. Ділянку припрацювання можна виділити лише для КЕП з включеннями *BN* на перших 25м тертя (6250 циклів). При

збільшені шляху тертя (50, 75, 100 м, що відповідає 12500, 18750, 25000 циклам) інтенсивність зношування для даного покриття не значно збільшується, що пов'язано із самозмашувальними властивостями включень нітриду бору. Для гальванічних нікелевих покриттів та КЕП з добавкою суміші нітридів $TiN + Si_3N_4$ ділянки припрацювання відсутні, а величина інтенсивності зносу постійно зростає, хоча не так інтенсивно, як для покриття на основі гальванічного нікелю (рис. 6).

На рисунку 7 подано залежності зносу покриттів на основі нікелю з включеннями нітридів від режимів термічного відпалу (температури та часу).

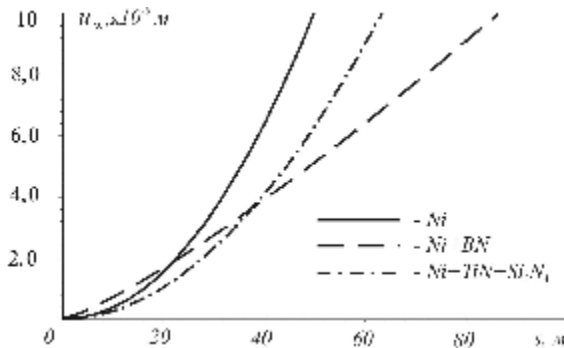


Рис. 6. Залежність зносу від шляху тертя $u_w (s)$

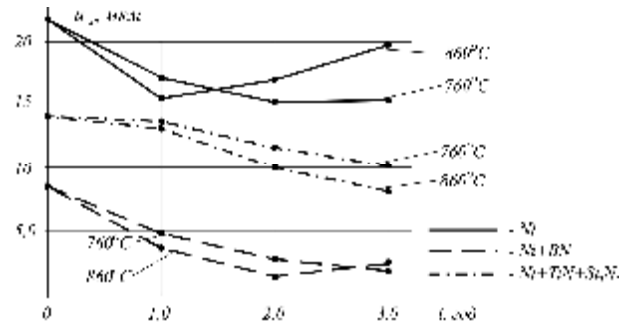


Рис. 7. Залежність зносу u_w від тривалості та температури відпалу

Для підвищення зносостійких характеристик КЕП на основі нікелю доцільним є співсаджання нікелю разом з нанорозмірними частинками та наступна термічна обробка покриттів з метою отримання дифузійних шарів. Оптимальними режимами відпалу КЕП з введеним нанодисперсним нітридом бору є температура відпалу 860°C, з витримкою 2 год; для КЕП з включеннями суміші $TiN + Si_3N_4$ оптимальним режимом є $T = 860^\circ\text{C}$, $t = 3$ год. Наведені режими відпалу дозволили підвищити зносостійкість покриттів відповідно в 5.5 та 1.7 разів. Гальванічні нікелеві покриття мають меншу зносостійкість, ніж КЕП. Оптимальним режимом термічної обробки нікелевих покриттів є $T = 760^\circ\text{C}$, $t = 2 \text{ год}$.

Висновки

Оцінка зносостійкості КЕП показала, що введення нанорозмірних нітридів бору, суміші нітридів титану та силіцію є ефективним засобом підвищення зносостійкості електрохімічних нікелевих покриттів. Проведення дифузійного відпалу отриманих покриттів сприяє підвищенню їх трибо логічних характеристик.

Література

1. Пат. 65018. Україна, МПК С25D 15/00. Склад для одержання зносостійких композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю для роботи при підвищених температурах / Кіндрачук М. В., Корнієнко А. О., Федорчук С. В., Лучка М. В., Перро Д. М., Подлесний В. В.; заявник та патентовласник Національний авіаційний університет – № u 2011 05006; заявл. 20/04/2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22. – 4 с.
2. Пат. 23289. Україна, МПК С23D 3/00. Спосіб одержання композиційних боридних покриттів на сталях і легких сплавах / Похмурський В. І., Мардаревич Р. С., Кирилів В. І.; заявник та патентовласник Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України – № а 2006 11185; заявл. 23/10/2006; опубл. 25.05.2007, Бюл. № 7. – 2 с.
3. Пат. 29705. Україна, МПК С25D 15/00. Склад для отримання КЕП на основі Ni з добавками нанорозмірних нітридів / Покришко Г. А., Дробот О. С., Підгайчук С. Я., Яворська Н. М.; заявник та патентовласник Хмельницький національний університет – № u 2007 10329; заявл. 17/09/2007; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 2. – 2 с.
4. Кузьменко А. Г. Жесткий контакт шара и плоскости с учетом износа: [Ч. 1. Установившийся износ] / Кузьменко А. Г., Сытник С. В., Кузьменко Г. А. // Проблемы трибологии. – 1998. – № 2 (8). – С. 21 – 40.
5. Кузьменко А. Г. Количественная оценка фреттинг-коррозии радиального подшипника при пульсирующей нагрузке: сообщение 2 / А. Г. Кузьменко, Б. С. Волынский, Л. В. Заболотная // Проблемы трибологии. – 1998. – № 3. – С. 44 – 59.
6. Кузьменко А. Г. Количественная оценка фреттинг-коррозии при пульсирующей нагрузке / А. Г. Кузьменко, Б. С. Волынский, Л. В. Заболотная // Проблемы трибологии. – 1998. – № 2. – С. 52–71.
7. Кузьменко А. Г. Методы испытаний на износ / А. Г. Кузьменко, С. В. Сытник // Проблемы трибологии. – 1999. – № 2 (12). – С. 38–109.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ШНЕКА ТА КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО РУХУ НА ПЕРЕМІЩЕННЯ ГРАНУЛЬОВАНОГО ПОЛІМЕРУ В ПРОЦЕСІ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Отримані залежності, що визначають вплив геометричних параметрів шнека, чистоти обробки поверхонь матеріального циліндру та стінок гвинтового каналу, частоти обертання та швидкості зворотно-поступального руху шнека на об'ємну та масову продуктивність транспортування полімерного матеріалу до зони плавлення.

Ключові слова: лиття під тиском, полімер, шнек, матеріальний циліндр, еластичний корок, швидкість, продуктивність.

M.E. SKYBA, O.M. SYNYUK, A.Y. MYKHAILOVSKYI
Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

MATHEMATICAL MODELLING OF THE SCREW GEOMETRY'S INFLUENCES AND MOTION'S KINEMATIC PARAMETERS FOR MOVING GRANULATED POLYMER IN THE CASTING PROCESS INJECTION MOLDING

There were obtained dependences that determine the influence of geometrical parameters of screw, purity of surface treatment of material cylinder and the walls of helical channel, the rotational speed of the screw and speed reciprocation of the screw on the volume and mass transport productivity of polymer material to the fusion zone.

Keywords: injection molding, polymer, screw, material cylinder, elastic cork, speed, productivity.

Вступ

Величезна кількість вчених [1-18] спостерігала та аналізувала явища, що відбуваються в процесі екструзії полімерів, а саме досліджувала вплив геометричних розмірів шнека і матеріального циліндра, їхньої конструкції та форми, чистоти обробки їхніх поверхонь, форми та розмірів полімерного матеріалу, який поступає через бункер в циліндр, технологічних параметрів процесу екструзії тощо на продуктивність роботи обладнання і якість отриманих виробів. В свою чергу, не достатньо глибоко досліджені процеси, що пов'язані з рухом полімерного матеріалу в матеріальному циліндрі під час лиття під тиском. У більшості роботах, в яких досліджується процес лиття під тиском, або приводиться описи принципу дії литтєвого обладнання [1-3, 11], або наводять результати експериментальних досліджень [19], або досліджують окремо процеси плавлення матеріалу в циліндрі [20, 21] та процеси заповнення прес-форм і формування виробів [3, 4, 22-24]. І тим більше майже ні ким не досліджувалась комплексна переробка полімерного матеріалу у виріб, тобто від моменту завантаження вихідної сировини через бункер до отримання готового виробу. На наш погляд аналіз процесів, що відбуваються протягом усього періоду переробки, є важливим при дослідженні повторної переробки попередньо подрібненого полімерного матеріалу.

В даній роботі спробуємо дослідити процес лиття під тиском полімерних матеріалів, що значно відрізняється від процесу екструзії. Так, при литті під тиском полімер не видавлюється, а впорскується, що вимагає створювати більший тиск і сильніше нагрівати стінки матеріального циліндру. Крім того, при заповненні прес-форми в циліндрі виникає значно більший зворотний хід полімеру, ніж при екструзії, що змушує збільшувати тиск і витримку під ним поки розплав не охолоне.

Основна частина.

Припустимо, що полімерний матеріал буде поступати на переробку у вигляді гранул, порошку (первинний матеріал) та шматків різних за формою і розміром (вторинний подрібнений матеріал). Полімерний матеріал у вигляді гранул (порошку) або шматків завантажується з бункеру і через отвір для завантаження поступає до черв'яка (рис. 1).

В різних типах литтєвих машин використовують різні методи пластикації полімерного матеріалу. Так, в поршневіх литтєвих машинах передача тепла здійснюється від зовнішніх джерел за рахунок теплопровідності полімеру, а ущільнення і гомогенізація – за рахунок ходу поршня при стисканні розм'якшеного матеріалу; в литтєвих машинах з черв'ячним шнеком – частина тепла передається від зовнішніх джерел за рахунок теплопровідності, решта частина утворюється за рахунок роботи сил тертя (зусиль зсуву), ущільнення забезпечується стисканням (осьове переміщення шнека), а гомогенізація – змішуванням (обертання шнека).

В даній роботі будемо моделювати процес пластикації та руху полімерного матеріалу в нагрівальному циліндрі з черв'ячним пластикатором.

Черв'як, обертаючись забирає вихідний матеріал від отвору для завантаження та переміщає його по каналу черв'яка, в зону плавлення, де він пластикується і рівномірно подається у вигляді гомогенного розплаву (рис. 1). Просуваючись вздовж черв'яка, полімерний матеріал розігрівається як за рахунок тепла, що виділяється внаслідок в'язкого тертя, так й тепла, яке передається від нагрівачів, що розташовані на корпусі матеріального циліндру. В результаті ущільнення із матеріалу видаляється, захоплене разом з гранулами (порошком) або шматками, повітря, і питомий об'єм короку гранул або шматків зменшується.

Для компенсації зменшення питомого об'єму матеріалу канал черв'яка виконується таким чином, щоб об'єм витка поступово зменшувався (рис. 1). Тому глибина гвинтового каналу черв'яка на виході завжди менша, ніж на вході.

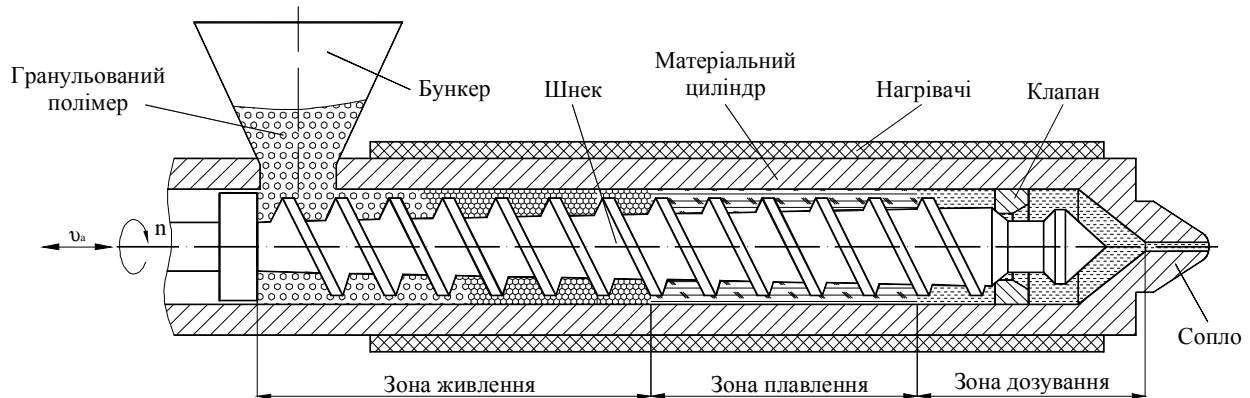


Рис. 1. Схема одношнекового екструдера

За характером процесів, що протікають на кожній ділянці черв'яка, його можна розділити на три основні зони – живлення, плавлення та дозування (див. рис. 1).

Велика кількість робіт [1-7, 11-13, 17, 18], що присвячені моделюванню процесів, які відбуваються під час пластикації полімерного матеріалу в матеріальному циліндрі при екструзії, розглядає переміщення матеріалу тільки за рахунок обертання шнека. В даній роботі будемо намагатися змодельювати процес руху полімеру за рахунок обертального та зворотно-поступального переміщення шнека, що має місце в реальних машинах для лиття під тиском.

Сьогодні в світі існує велика кількість різноманітних машин для лиття під тиском, які можуть відрізнятися технологічним циклом лиття, конструкцією, технологічним процесом формування виробів в прес-формі тощо, однак процес пластикації в них відбувається подібно, а саме під час зворотного руху шнека, що обертається.

Змодельюємо процеси, що протікають у вказаних вище зонах, враховуючи осьове переміщення шнека. Почнемо із зони живлення, тобто ділянки, на якій матеріал, що перероблюється, знаходиться в твердому стані – у вигляді гранул, порошоків або шматків різних за формою та розмірами (рис. 2).

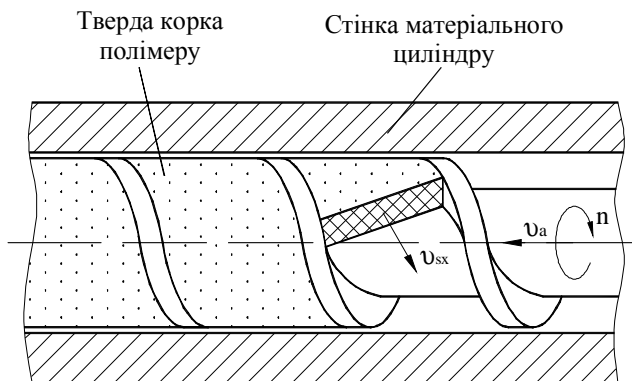


Рис. 2. Рух твердого корку по каналу черв'яка

Вперше повний аналіз переміщення твердих речовин в одношнековому екструдері, шнек якого не мав осьового руху, був виконаний в роботі [5], пізніше в роботах [1-3]. В роботі [25] представлений аналіз, який є трохи ширшим, тому що він враховує осьовий рух шнека, який окремо був розглянутий в роботі [6].

При моделюванні переміщення твердого корку в матеріальному циліндрі основне припущення полягає в тому, що тверді частки, ущільнюючись, утворюють еластичний корок, в якій відсутні деформації зсуву. На корок діють сили тертя, які виникають між поверхнею корку та поверхнями черв'яка та матеріального циліндра [11]. До вказаного припущення додаємо ще такі: твердий корок веде себе як неперервний потік; суцільний шар твердого корку контактує зі всією поверхнею каналу; можна знехтувати зазором над гребенем, гравітаційними силами та кривизною каналу.

Для проведення кінематичного аналізу руху твердого корку полімерного матеріалу в зоні живлення перед усім побудуємо плани швидкостей для таких випадків: шнек тільки обертається і шнек обертається і переміщається вздовж осі (рис. 3).

Розглянемо механізм руху твердого корку у гвинтовому каналі черв'яка (шнека), що обертається в середині матеріального циліндра (рис. 3 а). Виберемо точку А (деяку точку твердої корки), яка в початковий

Для моделювання процесів, що відбуваються у зоні живлення, перед усім почнемо з кінематичного аналізу руху елемента твердого корку.

Призначення цієї зони – переміщати тверді частки полімерного матеріалу від воронки для завантаження до зони плавлення. Транспортування добре сипучих полімерних матеріалів, що мають достатньо велику насипну вагу, не є досить серйозною проблемою. Але транспортування шматків полімеру різних за формою та розмірами (подрібнені відходи) або порошоків з поганою сипучістю та низькою насипною вагою в зоні живлення становить досить складну задачу.

момент часу співпадає з відповідною точкою гвинтового каналу. Прийmemo, що шнек обертається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з кінця матеріального циліндру. Тоді точка каналу шнека буде рухатися знизу до гори зі швидкістю u_k і за час t_{ab} переміститься на відстань AB . Одночасно під дією сили тертя між коркою матеріалу і внутрішньою стінкою матеріального циліндру корок переміщається з точки A в точку C зі швидкістю u_b . Відповідно, вздовж каналу корок просунеться вниз по каналу на відстань BC зі швидкістю u_{sx} (x – вісь, що спрямована вздовж осі розгортки гвинтового каналу), яка визначається кутом нахилу гвинтової лінії гребеня j . Таким чином, кут переміщення твердого короку q є кутом між швидкістю руху шнека і швидкістю корки u_b відносно стінки матеріального циліндру.

У випадку коли шнек крім обертання має ще осьове переміщення план швидкостей буде таким чином (рис. 3 б). Як видно з рисунка 3 б точка A перемістилася у точку B за час t_{ab} , але рухалась зі швидкістю u_{k1} , яка складається з тангенціальної (колової) u_k і аксіальної (вздовж осі шнека) u_a швидкостей. Кут a між u_k і u_{k1} визначається з такого рівняння

$$tg a = \frac{u_a}{u_k}, \tag{1}$$

де $u_k = pDn$ – колова швидкість шнека; n – частота обертання шнека; D – діаметр шнека.

Зрозуміло, що на швидкість u_{sx} , з якою корок переміщається вздовж каналу, швидкість осьового переміщення шнека не впливає, тому визначити її можна з трикутника ABC (рис. 3 а):

$$u_{sx} = u_k \cdot \frac{\sin q}{\sin(q+j)} = pDn \cdot \frac{\sin q}{\sin(q+j)}. \tag{2}$$

Представляє інтерес швидкість короку відносно стінки циліндру u_b , так як завдяки її осьовій складовій можна визначити масову витрату твердої корки, що переміщається вздовж осі l , відносно матеріального циліндру. Визначимо u_b з трикутника ABC (рис. 3 б):

$$u_b = u_{k1} \cdot \frac{\sin j}{\sin(q+j)}. \tag{3}$$

Швидкість u_{k1} можна визначити з трикутника ABE (рис. 3 б)

$$u_{k1} = \frac{u_k}{\cos a}. \tag{4}$$

Підставивши вираз (4) у рівняння (3) отримаємо

$$u_b = \frac{u_k}{\cos a} \cdot \frac{\sin j}{\sin(q+j)}. \tag{5}$$

Підставивши значення кута a з виразу (1) та значення u_k у рівняння (5) отримаємо

$$u_b = \frac{pDn}{\cos\left(\arctg\left(\frac{u_a}{pDn}\right)\right)} \cdot \frac{\sin j}{\sin(q+j)}. \tag{6}$$

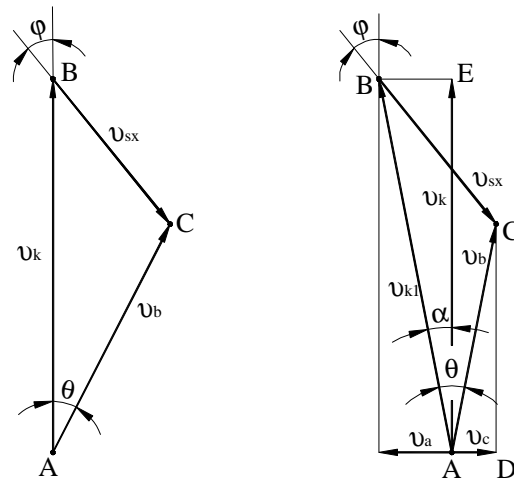
З трикутника ACD (рис. 3 б) визначаємо осьову складову швидкості переміщення короку відносно стінки циліндру

$$u_c = \frac{pDn}{\cos\left(\arctg\left(\frac{u_a}{pDn}\right)\right)} \cdot \frac{\sin j}{\sin(q+j)} \cdot \sin\left(q - \arctg\left(\frac{u_a}{pDn}\right)\right). \tag{7}$$

При усталеному русі сили тертя, що діють на корок з боку стінок гвинтового каналу, і сили тертя, що діють з боку внутрішньої поверхні матеріального циліндру, зв'язані таким співвідношенням [2, 11]

$$F_s = F_b \cos(q+j), \tag{8}$$

де F_s – сили тертя, що діють на корку з боку стінок гвинтового каналу; F_b – сили тертя, що діють з боку внутрішньої поверхні матеріального циліндру.



а – шнек тільки обертається; б – шнек обертається і переміщається вздовж осі
Рис. 3. План швидкостей

Для попереднього моделювання припустимо, що сили реакції з боку стінок каналу і поверхні матеріального циліндру на елемент твердого корокорівні. Звідси перепишемо рівняння (8) таким чином

$$f_s = f_b \cos(q + j), \quad (9)$$

де f_s – коефіцієнт тертя між полімерним корком і стінками гвинтового каналу; f_b – коефіцієнт тертя між полімерним корком і внутрішньою поверхнею матеріального циліндру.

Для руху твердого короку полімерного матеріалу необхідно, щоб коефіцієнт тертя між полімером і поверхнею матеріального циліндру був більшим за коефіцієнт тертя між полімером і стінками каналу.

Виразивши з рівняння (9) кут переміщення твердого короку q і підставивши отриманий вираз в рівняння (2) і (7) маємо

$$u_{sx} = pDn \cdot \frac{\sin\left(\arccos\left(\frac{f_s}{f_b}\right) - j\right)}{\sin\left(\arccos\left(\frac{f_s}{f_b}\right)\right)}. \quad (10)$$

$$u_c = \frac{pDn \cdot \sin j \cdot \sin\left(\arccos\left(\frac{f_s}{f_b}\right) - j - \arctg\left(\frac{u_a}{pDn}\right)\right)}{\cos\left(\arctg\left(\frac{u_a}{pDn}\right)\right) \cdot \sin\left(\arccos\left(\frac{f_s}{f_b}\right)\right)}. \quad (11)$$

Таким чином, рівняння (10) дозволяє визначати швидкість руху твердого короку полімеру вздовж розгорнутого гвинтового каналу шнека, а отже й час, за який ця корок дійде до границі між зонами живлення і плавлення. Це дозволяє, підбираючи правильні геометричні розміри черв'яка та забезпечуючи необхідну чистоту обробки поверхні стінок гвинтового каналу та внутрішньої поверхні матеріального циліндра на дільниці зони живлення, забезпечувати потрібну об'ємну витрату полімеру, а отже й незалежну об'ємну продуктивність зони живлення. Як відомо з [1, 2] не забезпечення потрібної об'ємної продуктивності в зоні живлення може призвести до нестабільності всього процесу лиття, а отже й до зниження продуктивності роботи литтєвого обладнання та до погіршення якості виробів.

Рівняння (11) дозволяє визначати осьову складову швидкості руху твердого короку полімеру відносно матеріального циліндра, а отже, як зазначалося раніше, й масову витрату твердого короку відносно циліндра. Це дозволить балансувати між продуктивністю обладнання і якістю виробів визначати оптимальні конструкційні і технологічні параметри процесу лиття під тиском.

Для визначення об'ємної витрати твердого короку полімеру відносно гвинтового каналу скористаємося формулою [11]

$$Q_k = u_{sx} H h, \quad (12)$$

де H – ширина гвинтового каналу, що перпендикулярна осі x ; h – глибина гвинтового каналу.

Для визначення масової витрати твердого матеріалу відносно матеріального циліндру скористаємося формулою [11] з врахуванням [11, 18]

$$M_c = u_c H h r, \quad (13)$$

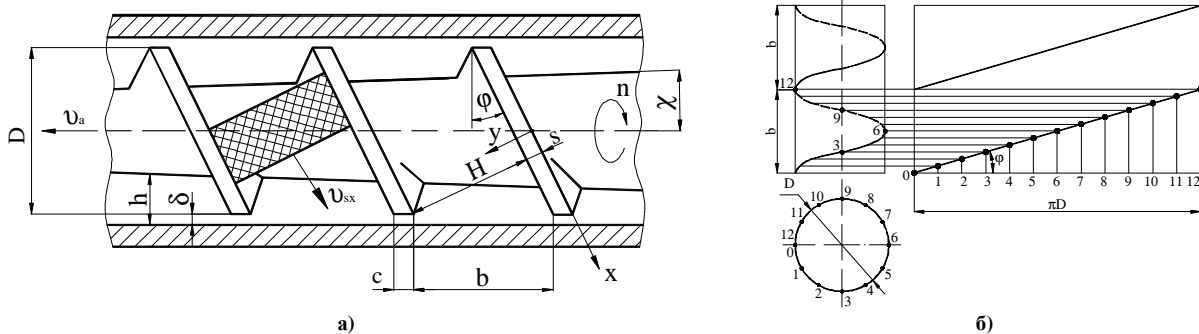
де ρ – середня густина твердого короку полімеру (в попередніх розрахунках приймається незмінною в межах всього об'єму твердого короку).

Розгорнувши гвинтову лінію черв'яка (рис. 4) можна легко визначити осьову ширину гвинтового каналу (або крок гвинтової лінії)

$$b = pD \cdot \operatorname{tg} j. \quad (14)$$

В свою чергу осьову ширину гвинтового каналу можна виразити через нормальну ширину гвинтового каналу (див. рис. 4)

$$b = \frac{H}{\cos j}. \quad (15)$$



а) – геометричні параметри шнека; б) – розгортка гвинтової лінії шнека
Рис. 4. Схема для кінематичного розрахунку

Підставивши рівняння (15) в рівняння (14) можна отримати формулу визначення нормальної ширини каналу черв'яка через його діаметр і кут нахилу гвинтового каналу

$$H = pD \cdot \sin j \quad (16)$$

Підставивши рівняння (10) і (16) в формулу (12), отримаємо

$$Q_k = p^2 D^2 n h \cdot \sin j \cdot \frac{\sin \left(\arccos \left(\frac{f_s}{f_b} \right) - j \right)}{\sin \left(\arccos \left(\frac{f_s}{f_b} \right) \right)} \quad (17)$$

Підставивши рівняння (11) і (16) в формулу (13), отримаємо

$$M_c = \frac{p^2 D^2 n h r \cdot \sin^2 j \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{f_s}{f_b} \right) - \arctg \left(\frac{u_a}{pDn} \right) - j \right)}{\cos \left(\arctg \left(\frac{u_a}{pDn} \right) \right) \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{f_s}{f_b} \right) \right)} \quad (18)$$

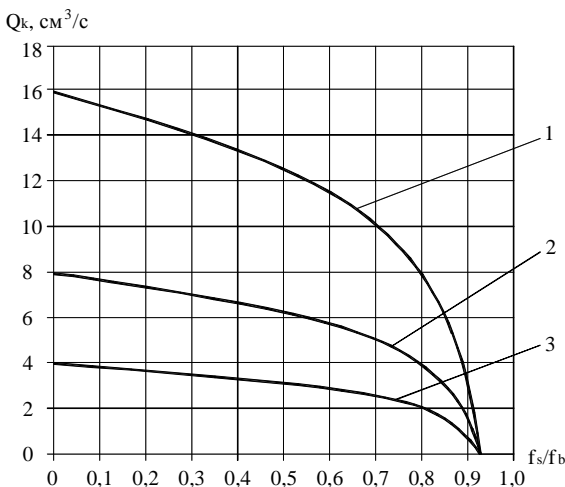
Рівняння (17) дозволяє визначати незалежну об'ємну витрату твердого корокуполімеру відносно гвинтового каналу у зоні живлення, а рівняння (18) дозволяє визначати масову витрату твердого корокуполімеру відносно матеріального циліндру.

Отримані вище рівняння дозволяють визначати продуктивність зони живлення, якщо має місце усталений рівномірний рух твердого корокуполімеру. Це є важливим для отримання вихідних даних для динамічного розрахунку.

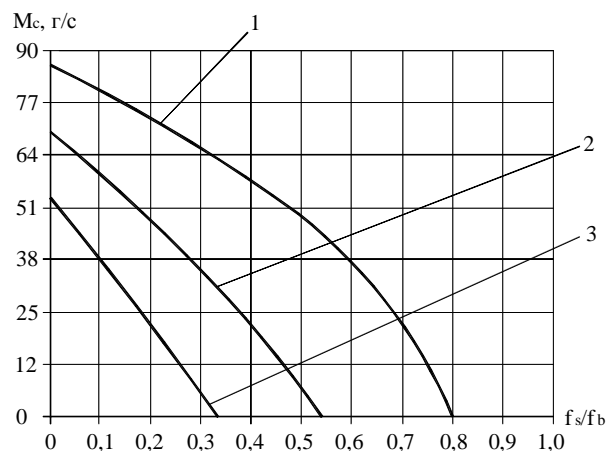
Якщо транспортування твердого короку розглядати як ізотермічний процес, то на об'ємну продуктивність зони живлення будуть впливати такі параметри: відношення коефіцієнтів тертя між коркою і стінкою циліндру та між короком та стінками каналу (f_s/f_b), частота його обертання (n), кут підйому (j) і глибина гвинтового каналу (h) та діаметр шнеку (D), а на масову продуктивність відносно матеріального циліндру крім вказаних вище параметрів буде ще впливати швидкість осьового переміщення шнеку (u_a).

В результаті проведених в роботі теоретичних досліджень, для яких використовувалися дані з робіт [1, 2, 11, 18, 19], встановлено, що вплив співвідношення коефіцієнтів тертя між полімером і циліндром та між полімером і шнеком на об'ємну та масову продуктивність є суттєвим (рис. 5, 6). Отриманні результати добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень, що наведені в [18, 19].

Полімерний матеріал у вигляді еластичної твердого корокуза рахунок різниці сил тертя між полімером і стінкою циліндру та полімером і стінками гвинтового каналу рухається вздовж осі литвєвої головки в напрямку прес-форми. Чим більша різниця між силами тертя, тобто чим менше співвідношення між коефіцієнтами тертя, тим вища швидкість руху короку вздовж каналу, а отже більші об'ємна продуктивність полімеру відносно гвинтового каналу та масова продуктивність полімеру відносно матеріального циліндру. Так, якщо відношення f_s/f_b буде прямувати до нуля, тобто коефіцієнт тертя між полімером і циліндром буде значно перевищувати коефіцієнт тертя між полімером та гвинтовим каналом, то об'ємна продуктивність відносно каналу Q_k та масова продуктивність відносно циліндру M_c , будуть прямувати до максимуму. При цьому, збільшуючи частоту обертання шнека, можна досягнути ще більшої продуктивності (рис. 5).



1 – $n = 100$ об/хв; 2 – $n = 50$ об/хв; 3 – $n = 25$ об/хв
 Рис. 5. Графіки залежності продуктивності зони живлення від співвідношення коефіцієнтів тертя між коркою полімеру та поверхнями циліндра і черв'яка



1 – $v = 0,02$ м/с; 2 – $v = 0,05$ м/с; 3 – $v = 0,08$ м/с
 Рис. 6. Графіки залежності масової продуктивності зони живлення від співвідношення коефіцієнтів тертя між короку полімеру та поверхнями циліндра і черв'яка

Теоретичні дослідження впливу швидкості осьового руху шнеку на масову продуктивність відносно матеріального циліндра (рис. 6) показали що, чим більша осьова швидкість руху шнека, тим менша масова продуктивність транспортування полімерного короку, тобто для досягнення необхідної продуктивності слід зменшити значення осьової швидкості, а для цього слід виконати динамічний аналіз руху полімерного короку, на основі якого визначити такі конструкційні та технологічні параметри процесу лиття під тиском, які б забезпечили зменшення швидкості осьового руху шнека. Якщо зменшити осьову швидкість не вдасться, тоді слід збільшити різницю між силами тертя, що виникають між полімером і матеріальним циліндром та між полімером і стінками гвинтового каналу, або збільшити насипну вагу матеріалу, що подається через бункер в зону живлення.

Для збільшення різниці між силами тертя з урахуванням досліджень та рекомендацій [1, 2, 11, 18, 25] пропонується:

1. Збільшити тертя між полімером і внутрішньою поверхнею циліндра. Це можна забезпечити в такий спосіб: збільшити шорсткість цієї поверхні; збільшити площу тертя (добавити певні елементи або нарізати канавки); на початку зони живлення зменшити температуру матеріального циліндру.

2. Зменшення тертя між полімером і поверхнями гвинтового каналу. Це можна забезпечити в такий спосіб: зменшити шорсткість поверхонь каналу шнека (застосування антифрикційного покриття, використання каталітичної конверсії поверхонь – J-Tex або Dyna-blue); збільшити радіус торця по зовнішньому діаметру гребеня; виключити направляючий короткий гребень на початку зони живлення.

Для збільшення насипної ваги матеріалу, що подається в зону живлення, пропонується збільшити щільність завантаження. Щодо конкретних методів ущільнення, то їх будемо аналізувати, розглянувши та змодельовавши процес руху сипучих речовин. Цікаві результати показали дослідження впливу кута підйому гвинтового каналу (кута нарізки) на продуктивність зони живлення (рис. 7, 8).

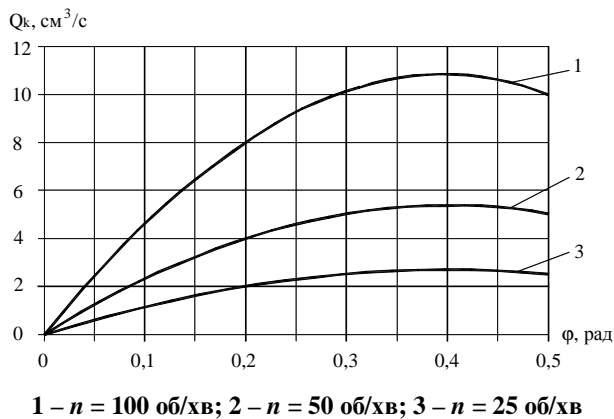


Рис. 7. Графіки залежності продуктивності зони живлення від кута підйому гвинтового каналу

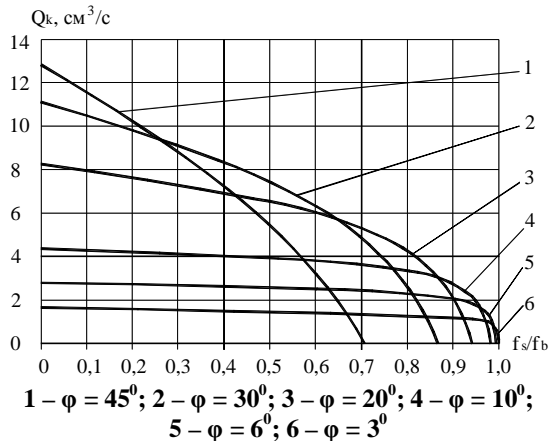


Рис. 8. Графіки залежності продуктивності зони живлення від співвідношення коефіцієнтів тертя між короком полімеру та поверхнями циліндра і черв'яка

Так, для руху твердого корокополімеру при великому куті підйому гвинтового каналу вимагається більш сприятливе співвідношення коефіцієнтів тертя, ніж для малих кутів (рис. 7). Наприклад, якщо кут підйому близький до 90° , то стійкий процес транспортування полімеру із зони живлення у зону плавлення можна забезпечити тільки з таким шнеком, щоб коефіцієнт тертя між ним і полімерною короком був близьким до нуля. Зрозуміло, що такі умови не реальні. З другого боку, по мірі зменшення кута підйому гвинтового каналу стають прийнятними більші значення співвідношення коефіцієнтів тертя (рис. 8). Наприклад, шнек з кутом підйому гвинтового каналу $j = 10^\circ$ при співвідношенні коефіцієнтів тертя $f_s/f_b = 0,2$ буде забезпечувати вдвічі меншу продуктивність, ніж шнек з кутом нарізки $j = 60^\circ$, а при співвідношенні коефіцієнтів тертя $f_s/f_b = 0,65$ буде забезпечувати навпаки вдвічі більшу продуктивність.

Проведений аналіз показав, що при малих кутах підйому гвинтового каналу створюються кращі умови для транспортування твердого корокополімерного матеріалу і цей кут має лежати в діапазоні між 19° ($0,33$ рад) та 24° ($0,42$ рад). Отримані результати добре узгоджуються з [1, 2].

Висновки

В результаті проведеного кінематичного аналізу були отримані залежності, що визначають вплив геометричних параметрів шнека, чистоти обробки поверхонь матеріального циліндра та стінок гвинтового каналу, частоти обертання та швидкості зворотно-поступального руху шнека на об'ємну та масову продуктивність транспортування полімерного матеріалу до зони плавлення.

Звичайно для повного аналізу і моделювання процесів, що відбуваються в зоні живлення, необхідно дослідити вплив: всіх сил, що діють на твердий корок полімеру, форми і розмірів гранул або шматків полімерного матеріалу, що завантажуються у бункер, температури стінок матеріального циліндру на переміщення твердого корокополімеру до зони плавлення, але це є темою подальших досліджень.

Література

1. Торнер Р. В. Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р. В. Торнер, М. С. Акутин. – М.: Химия, 1986. – 400 с.
2. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р. В. Торнер. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
3. Tadmor, Zehev, 1937. Principles of polymer processing / Zehev Tadmor, Costas G. Gogos. – Published by John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. – 2006. – 920 p.
4. Tadmor, Z. Engineering Principles of Plasticating Extrusion [Text] / Z. Tadmor, T. Klein // Modern Plastics. – 1970 – Vol. 1, Issue 6. – P. 46–54.
5. Darnell W. H. Solids Conveying in Extruders / W. H. Darnell, E. A. Mol. // Soc. Plast. Eng. Journal. – 1956. – № 12. – P. 20-28.
6. Rauwendaal C. Conveying and Melting in Screw Extruders with Axial Screw Movement / C. Rauwendaal // International Polymer Processing. – 1992. – Vol. 7. – № 1. – P. 26–31.
7. Chan D. Dynamic behavior of a single screw plasticating extruder part II: Dynamic modeling / D. Chan, R. W. Nelson, L. James Lee // Polymer Engineering & Science. – 1986. – V. 26. – Issue 2. – P. 152–161.
8. Thibault F. A numerical model for single screw extrusion with poly(vinyl chloride) (PVC) resins / F. Thibault, P. A. Tanguy, D. Blouin // Polymer Engineering & Science. – 1994. – V. 34. – Issue 18. – P. 1377–1386.
9. Covas J. A. An optimization approach to practical problems in plasticating single screw extrusion / J. A. Covas, A. G. Cunha, P. Oliveira // Polymer Engineering & Science. – 1999. – V. 39. – Issue 3. – P. 443–456.
10. Wilczyński Krzysztof. Experimental study for starve-fed single screw extrusion of thermoplastics / Krzysztof Wilczyński, Adrian Lewandowski, Krzysztof J. Wilczyński // Polymer Engineering & Science. – 2012. – V. 52. – Issue 6. – P. 1258–1270.
11. Мак-Келви Д. М. Переработка полимеров / Д. М. Мак-Келви. – М.: Химия, 1965. – 444 с.
12. Сагиров С. Н. Исследование и моделирование процесса движения полимера в одношнековом экструдере / С. Н. Сагиров // Фундаментальные исследования. Технические науки. – 2011. – № 12. – С. 179 – 183.
13. Воронін Л.Г., Дослідження процесу гомогенізації полімеру при черв'ячній екструзії / Л. Г. Воронін, М. П. Швед, А. С. Богатир // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 7. – С. 40 – 43.
14. Черняев В. В. Математическое моделирование влияния геометрических параметров шнека на процессы тепломассопереноса / В. В. Черняев // Вестник Пермского Национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2012. – № 6. – С. 85 – 92.
15. Черняев В. В. Исследование влияния реологических характеристик на процесс экструзии / В. В. Черняев // Вестник Пермского Национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2011. – № 5. – С. 29 – 36.
16. Галыгин В. Е. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов : учебное пособие / В. Е. Галыгин, Г. С. Баронин, В. П. Таров, Д. О. Завражин. – Тамбов : ФГБОУ ВПО “ Тамбовский государственный технический университет”. – 2012. – 180 с.
17. Степанюк Д. А. Черв'ячно-шестеренний екструдер при переробці полімерних матеріалів / Д. А. Степанюк, М. П. Швед, Д. М. Швед // Международный научный журнал “ScienceRise”. – 2015. – № 3/2(8). – С. 31 – 34.
18. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров / В.С. Ким. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 568 с.
19. Лапшин В. В. Основы переработки термопластов литьем под давлением / В. В. Лапшин. – М.: Химия, 1974. – 270 с.
20. Donovan R. C. The plasticating process in injection molding / R. C. Donovan // Polymer Engineering & Science. – 1974. – V. 14. – Issue 2. – P. 101–111.
21. Donovan R. C. A theoretical melting model for a reciprocating-screw injection molding machine / R. C. Donovan // Polymer Engineering & Science. – 1971. – V. 11. – Issue 5. – P. 361–368.
22. Злотенко Б. М. Научные основы проектирования технологического процесса литья изделий лёгкой промышленности с прогнозируемыми свойствами: дис. доктора техн. наук : 05.19.06 / Злотенко Борис Миколайович. – К., 2003. – 405 с.
23. Синюк О. М. Удосконалення прес-форм для лиття деталей взуття: дис. канд. техн. наук : 05.05.10 / Синюк Олег Миколайович. – Хмельницький, 2002. – 157 с.
24. Кулік Т. І. Вдосконалення технологічного процесу лиття комбінованих взуттєвих виробів із полімерних матеріалів : дис. канд. техн. наук : 05.19.06 / Кулік Тетяна Ігорівна. – К., 2006. – 190 с.
25. Освальд Т. А. Литье пластмасс под давлением / Т. А. Освальд, Л.-Ш. Тунг, П. Дж. Грэмман; под ред. Э.Л. Калинчева. – СПб.: Профессия, 2006. – 712 с.

Рецензія/Peer review : 20.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ СКЛАДОК ПРИ ВЫТЯЖКЕ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ БЕЗ ПРИЖИМА

Представлены результаты анализа процесса вытяжки листовой заготовки без прижима на первом и последующих переходах штамповки, основное внимание в котором уделено определению предельных условий, при которых вероятно образование продольных складок. Получены аналитические зависимости, выражающие условия устойчивости заготовки при многооперационной вытяжке без прижима по условию образования продольных складок в радиальных направлениях конического участка заготовки на первом и последующих переходах штамповки, которые удобны для инженерных расчётов и отражают истинную картину, с точки зрения влияния различных факторов на процесс вытяжки в реальных условиях листовой штамповки.

Ключевые слова: вытяжка, переход, устойчивость, заготовка, фланец, складка, прижим

Y.G. ROZOV

Kherson national technical university

DETERMINATION OF THE PARAMETERS INFLUENCING THE OCCURRENCE OF THE LONGITUDINAL FOLDS DURING THE EXTRACTION OF THE BLANKS WITHOUT THUMB

Abstract - The article presents the results of the analysis of the process of drawing a sheet workpiece without clamping on the first and subsequent stamp transitions, focusing on the identifying the limiting conditions under which the formation of longitudinal folds is probable. Analytical correspondences that express the conditions of stability of the workpiece when the multifunction extractor clamps without the formation of longitudinal folds in radial directions of the conical section of the workpiece on the first and subsequent transitions stamping are obtained. These analytical correspondences are convenient for engineering calculations and reflect the true picture, from the point of view of the influence of various factors on the extraction process in real conditions of sheet metal forming.

Keywords: extract, transportation, sustainability, procurement, flange, fold, clamp

Введение

Одной из причин, ограничивающих использование операций вытяжки листовой заготовки без прижима (рис. 1) в современной металлообрабатывающей промышленности, является потеря устойчивости заготовок в процессе деформирования, заключающаяся в возникновении продольных складок в зоне деформации [1, 2]. Факторы, оказывающие влияние на процесс складкообразования, к сожалению, до настоящего времени изучены не достаточно, а рекомендации по осуществлению вытяжки без ограничений носят приближённый характер и не подкреплены соответствующими аналитическими зависимостями, удобными для инженерных расчётов.

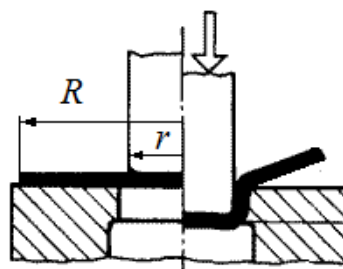


Рис. 1. Схема вытяжки листового металла без прижима

С целью получения таких зависимостей, был проведен теоретический анализ процесса вытяжки цилиндрической детали без прижима на первом и последующих переходах штамповки, основное внимание в котором было уделено определению предельных условий, при которых вероятно образование продольных складок на фланце заготовки.

Рассмотрим равновесие бесконечно малого элемента фланца листовой заготовки (рис. 1), ограниченного центральным элементарным углом dg , длина образующей которого равна $\frac{dr}{\sin(a)}$ (см. рис.2).

Примем, что нормальные тангенциальные напряжения S_q , действующие по боковым поверхностям выделенного элемента, распределены равномерно. Примем также, что кривизна срединной поверхности в широтном направлении в месте образования продольной складки определяется действием изгибающего момента M и сил, образованных напряжениями S_q и что величина этой кривизны определяется условием равенства момента M и моментов, создаваемых элементарными силами,

образованными напряжениями s_q .

Для определения изгибающего момента M используем формулу в виде [3]:

$$M = \frac{s_s s^2}{4}.$$

Уравнение равновесия бесконечно малого элемента заготовки:

$$s_q \frac{dr}{\sin(a)} S(1 - \cos(dg)) \frac{r}{\cos(a)} + \frac{s_s s^2}{4} \frac{dr}{\sin(a)} = 0, \quad (1)$$

где [3]:

$$s_q = -s_s \left(1 - \ln\left(\frac{R}{r}\right) \right).$$

Решая уравнение (1) относительно dg при подстановке (при малых значениях угла dg):

$$1 - \cos(dg) = \frac{(dg)^2}{2},$$

получим:

$$dg = \sqrt{\frac{S \cos(a)}{2r \left(1 - \ln\left(\frac{R}{r}\right) \right)}}. \quad (2)$$

Определим условия, при которых **возможно** возникновение продольных складок, для чего рассмотрим потерявший устойчивость фланец заготовки со сформировавшимися складками, имеющими минимально возможную длину полуволны (рис.3).

Принимаем постоянство площади сечения фланца заготовки на протяжении всего процесса складкообразования, ввиду его кратковременности. Определим площадь сечения одной полуволны складки $F_{СКЛ}$ (допускаем, при этом, что полуволна принимает форму полукруга). С учётом рисунка 3:

$$F_{СКЛ} = \frac{1}{2} p S^2 + \frac{21}{4} p S^2 = p S^2.$$

С учётом принятого постоянства площади сечения, определим длину в широтном направлении элемента фланца заготовки толщиной S , из которого формируется складка (на рис. 3 изображен тонкой линией).

Согласно принятым обозначениям:

$$dgr = \frac{F_{СКЛ}}{S} = pS.$$

Очевидно, что возникновение продольных складок в области фланца заготовки **возможно** при выполнении условия:

$$dgr \geq pS, \quad (3)$$

т.е., с учётом (2), при:

$$r \sqrt{\frac{S \cos(a)}{2r \left(1 - \ln\left(\frac{R}{r}\right) \right)}} \geq pS$$

или:

$$\cos(a) \geq 2p^2 \frac{S}{r \left(1 - \ln\left(\frac{R}{r}\right) \right)}. \quad (4)$$

Очевидно, что образование складки по всей длине образующей фланца возможно при $r = R$ (при этом, правая часть неравенства (4) максимальна).

Для определения угла конусности a (рис. 4), получаемого фланцем заготовки при вытяжке, воспользуемся формулой, полученной в работе [3]:

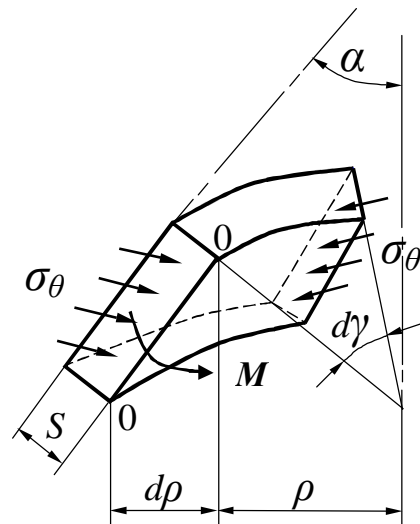


Рис. 2. Расчётная схема бесконечно малого элемента на кромке заготовки

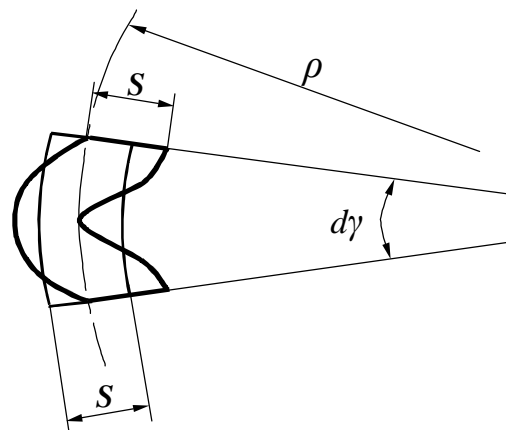


Рис. 3. Форма потерявшего устойчивость края заготовки (возникновение складки)

$$\operatorname{tg} a \sin a = \frac{r}{S} \left(\frac{R^2}{r^2} - 1 - 2 \ln \left(\frac{R}{r} \right) \right),$$

которую можно записать в виде:

$$\frac{1 - \cos^2(a)}{\cos(a)} = \frac{r}{S} \left(\frac{R^2}{r^2} - 1 - 2 \ln \left(\frac{R}{r} \right) \right).$$

Решая последнее уравнение относительно $\cos(a)$, после подстановки его значения в неравенство (4) и несложных сокращений, получим:

$$S \leq r \left(1 - \ln \left(\frac{R}{r} \right) \right) \sqrt{\frac{2p^2 \left(\frac{R^2}{r^2} - 1 - 2 \ln \left(\frac{R}{r} \right) \right)}{2p^2}}.$$

Таким образом, при выполнении условия:

$$S > r \left(1 - \ln \left(\frac{R}{r} \right) \right) \sqrt{\frac{2p^2 \left(\frac{R^2}{r^2} - 1 - 2 \ln \left(\frac{R}{r} \right) \right)}{2p^2}}, \quad (5)$$

потеря устойчивости заготовки при вытяжке без прижима по условию образования складок в радиальных направлениях фланца, вызванных действием сжимающих тангенциальных напряжений S_q , невозможна. Если неравенство (5) не удовлетворяется, то вытяжку целесообразно вести с прижимом. Неравенство (5) выражает **условие устойчивости** заготовки при вытяжке без прижима по условию образования продольных складок в радиальных направлениях фланца.

Проведенный анализ отличается простотой, вместе с тем, его результаты согласуются с результатами достаточно точных, но и довольно сложных решений, полученных в работе [4].

Продолжим анализ.

Определим условие устойчивости в коническом участке цилиндрической заготовки на последующих переходах вытяжки (рис. 5), для чего рассмотрим равновесие бесконечно малого элемента заготовки на кромке, ограниченного центральным элементарным углом dg , длина образующей которого равна

$$\frac{dr}{\sin(a)} \quad (\text{см. рис. 6}).$$

Примем, что нормальные напряжения S_K , действующие на контактной поверхности рассматриваемого участка, и тангенциальные напряжения S_q , действующие по боковым поверхностям выделенного элемента, распределены равномерно. Примем также, что кривизна срединной поверхности в широтном направлении в месте образования продольной складки определяется действием изгибающего момента M и сил, образованных напряжениями S_K и S_q и что величина этой кривизны определяется условием равенства момента M и моментов, создаваемых элементарными силами, образованными напряжениями S_K и S_q .

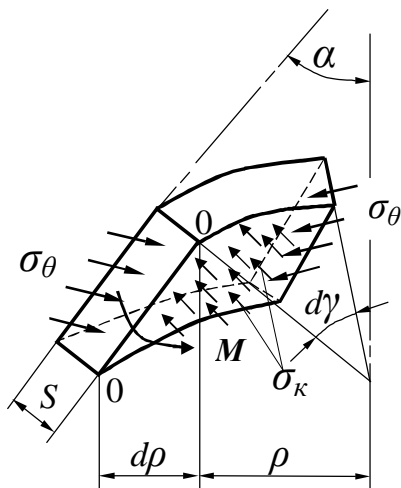


Рис. 6. Расчётная схема бесконечно малого элемента в коническом участке заготовки

Уравнение равновесия бесконечно малого элемента

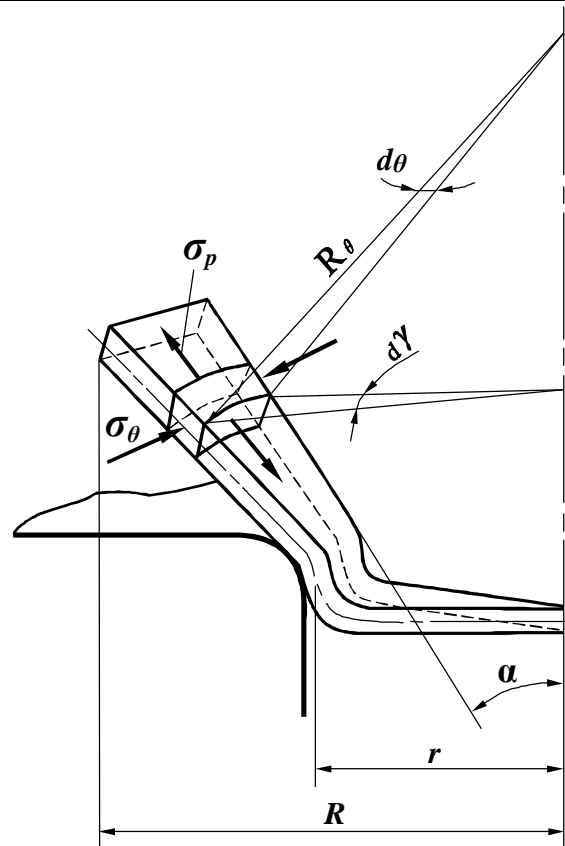


Рис. 4. Расчётная схема для определения геометрических параметров заготовки

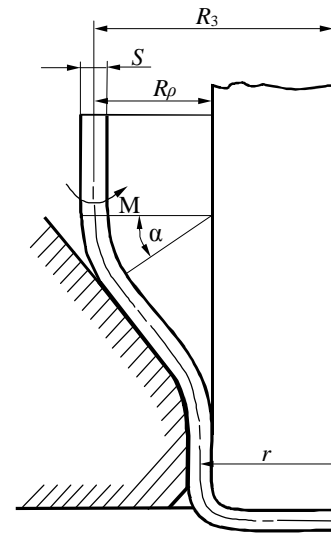


Рис. 5. Схема вытяжки на последующих

Уравнение равновесия бесконечно малого элемента

которого равна $\frac{dr}{\sin(a)}$ (см. рис. 6), выраженное через моменты относительно сечения 0-0, выразится:

$$s_q \frac{dr}{\sin a} S(1 - \cos(dg)) \frac{r}{\cos a} + S \frac{S_q}{r} \cos(a) \frac{dr}{\sin(a)} dg r r \operatorname{tg}\left(\frac{dg}{2}\right) + \frac{S_S S^2}{4} \frac{dr}{\sin(a)} = 0, \quad (6)$$

где для определения S_q используем уравнение пластичности по гипотезе постоянства максимальных касательных напряжений ($S_r - S_q = S_S$), а также выражение для меридиональных напряжений в коническом участке очага деформации [3]. Тогда:

$$s_q = -S_S \left[1 - (1 + m \operatorname{tg} a) \left(1 - \left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \right) - \sqrt{\frac{S}{R_3}} \frac{\sin(a)}{2} \left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \right]. \quad (7)$$

Подставив (при малых значениях угла dg):

$$1 - \cos(dg) = \frac{(dg)^2}{2}; \quad \operatorname{tg}\left(\frac{dg}{2}\right) = \frac{dg}{2}$$

и решая относительно dg , получим:

$$dg = \sqrt{\frac{S}{2r} \frac{\cos(a)}{(1 + \cos^2(a)) \left[1 - (1 + m \operatorname{tg} a) \left(1 - \left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \right) - \sqrt{\frac{S}{R_3}} \frac{\sin(a)}{2} \left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \right]}}. \quad (8)$$

Складкообразование в коническом участке заготовки **возможно** при выполнении неравенства (3), т.е., с учётом (8), при:

$$r \sqrt{\frac{S}{2r} \frac{\cos(a)}{(1 + \cos^2(a)) \left[1 - (1 + m \operatorname{tg} a) \left(1 - \left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \right) - \sqrt{\frac{S}{R_3}} \frac{\sin(a)}{2} \left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \right]}} \geq pS$$

или, после подстановки $r = r$ (при этом складка образуется по всей длине образующей конического участка):

$$\frac{\cos(a)}{(1 + \cos^2(a)) \left[1 - (1 + m \operatorname{tg} a) \left(1 - \left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \right) - \sqrt{\frac{S}{R_3}} \frac{\sin(a)}{2} \left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \right]} \geq 2p^2 \frac{S}{r}. \quad (9)$$

Как известно, практические значения угла конусности матрицы a при многооперационной вытяжке принимаются в пределах $15...20^\circ$ (что соответствует оптимальным значениям угла a [3]), а коэффициент трения $m \leq 0,1$ (с применением смазки) [5]. С учётом этого, принимаем следующие упрощения:

$$\left(\frac{r}{R_3} \right)^{m \operatorname{tg} a} \approx 1 - m \operatorname{tg} a \left(\frac{R_3 - r}{R_3} \right); \quad \frac{\cos(a)}{1 + \cos^2(a)} \approx \frac{1}{2}; \quad (m \operatorname{tg} a)^2 \left(1 - \frac{r}{R_3} \right) \approx 0; \quad 1 - \sqrt{\frac{S}{R_3}} \frac{\sin(a)}{2} \approx 1.$$

Тогда, после несложных преобразований, неравенство (9) примет вид:

$$\frac{r}{R_3 - r} \leq \frac{S}{R_3} 4p^2 (1 - m \operatorname{tg} a).$$

Таким образом, при выполнении условия:

$$\frac{r}{R_3 - r} > \frac{S}{R_3} 4p^2 (1 - m \operatorname{tg} a), \quad (10)$$

потеря устойчивости цилиндрической заготовки при многооперационной вытяжке (на последующих переходах) по условию образования складок в коническом участке, вызванных действием сжимающих тангенциальных напряжений S_q , **невозможна**. Если неравенство (10) не удовлетворяется, то на последующих переходах вытяжки необходимо применять специальный прижим.

Неравенство (10) выражает **условие устойчивости** заготовки при многооперационной вытяжке со смазкой в матрице с углом конусности $a \leq 30^\circ$ без прижима по условию образования продольных складок в радиальных направлениях конического участка заготовки на последующих переходах штамповки.

Выводы

1. Проведен теоретический анализ процесса возникновения продольных складок при вытяжке листовой заготовки без прижима на первом и последующих переходах штамповки, определены параметры и

степень их влияния на процесс складкообразования и записаны условия устойчивости заготовки.

2. Полученные в работе зависимости удобны для инженерных расчетов и, несмотря на принятые допущения, отражают истинную картину, с точки зрения влияния различных факторов на процесс потери устойчивости с образованием продольных складок в очаге деформации при вытяжке листовой заготовки без прижима.

3. Полученные зависимости рекомендуется к использованию при проектировании процессов многооперационной вытяжки листовой заготовки.

Литература

1. Пилипенко О. В. Предельные возможности процесса вытяжки с утонением стенки толстостенных цилиндрических заготовок из анизотропных материалов / О. В. Пилипенко, А. И. Агеева // Известия Тульского государственного университета. Серия. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2006. – Вып. 4. – 240–245.

2. Пилипенко О. В. Предельные возможности формоизменения последующих операций комбинированной вытяжки анизотропных материалов в режиме ползучести / О. В. Пилипенко, С. В. Логвинова, А. В. Черняев // Известия Тульского государственного университета. Серия. Проблемы специального машиностроения. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2006. - Вып. 9. - Часть 2. – С. 145 – 150.

3. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с.

4. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки / Л. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1964. – 375 с.

5. Справочник по ковке и штамповке / Листовая штамповка. Т. 4 / Под ред. А. Д. Матвеева; ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М. : Машиностроение, 1985 – 1987. – 544 с.: ил.

Рецензія/Peer review : 22.9.2015 р.

Надрукована/Printed :3.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.83.062

Г.А. АВАНЕС'ЯНЦ

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ВАРИАТОРА НА УСИЛИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ РЕМНЯ

В статье исследуется изменение усилия предварительного натяжения ремня при регулировании передаточного числа клиноременного вариатора. Рассмотрены различные типы вариаторов: с одним раздвижным шкивом, с двумя раздвижными шкивами, как с симметричным, так и с несимметричным регулированием. Показана связь между усилием предварительного натяжения, окружной силой и упругой силой пружины, поддерживающий подвижный диск регулируемого шкива. Показано, как количественно изменяется усилие предварительного натяжения ремня и как это отражается на его тяговом усилии. Приведен пример расчета и даны рекомендации по поддержке тягового усилия вариатора на необходимом уровне.

Ключевые слова: клиноременной вариатор, усилие предварительного натяжения, передаточное число, влияние.

GEORGY AZATOVICH AVANESYANC

Odessa national academy of food technologies

THE IMPACT TRANSMISSION RATIO OF THE V-BELT VARIATOR ON PRE-TENSIONING FORCE

Abstract – The article deals with change of strap preliminary pull effort in regulating the ratio of v-belt variator. Various types of v-belt variators have been considered: with a one extensible pulley, with two extensible pulleys, with both symmetrical and asymmetrical regulation. Connection has been shown between effort of preliminary pull, circuitous force and resilient force of the spring, supporting the mobile disk of the managed pulley. It has been shown how effort of preliminary pull of strap is changed quantitatively and how it affects its hauling effort. An example of calculation effort has been given to variator symmetric regulation.

Recommendations on support of the variator hauling effort at the necessary level have been stated.

Keywords: v-belt variator, preloading force, gear ration, effect.

При регулировании вариатора, а, следовательно, при изменении его передаточного числа усилие предварительного натяжения ремня F_0 не остается постоянным, что влечет за собой изменение тяговой способности вариатора и напряженного состояния ремня. Изменение усилия F_0 главным образом зависит от конструкции вариатора, а также способа его регулирования.

Рассмотрим клиноременные вариаторы с несимметричным регулированием, которые выполняются как с одним (рис. 1), так и с двумя раздвижными шкивами (рис. 2). У этих вариаторов изменение передаточного числа осуществляется изменением межосевого расстояния и один диск раздвижного шкива обязательно подпружинен.

Следует отметить, что в обеих конструктивных схемах подпружинивается всегда диск ведомого шкива, а в случае двух раздвижных шкивов регулирующее устройство устанавливают на ведущем шкиве [2].

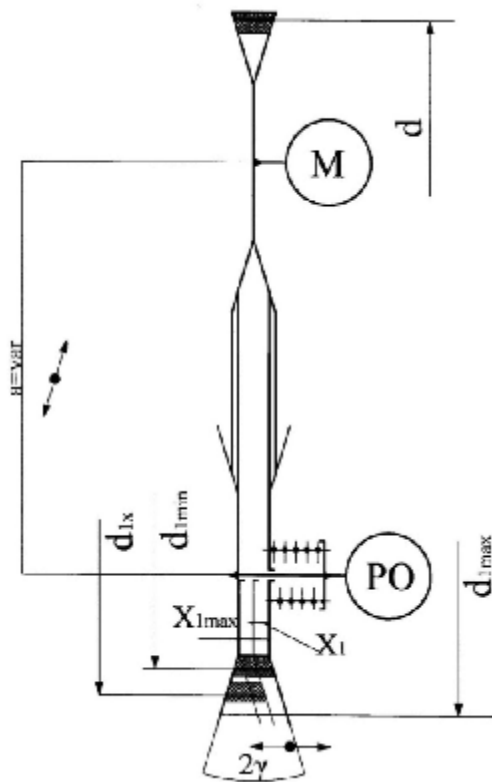


Рис. 1. Вариатор с одним раздвижным шкивом.

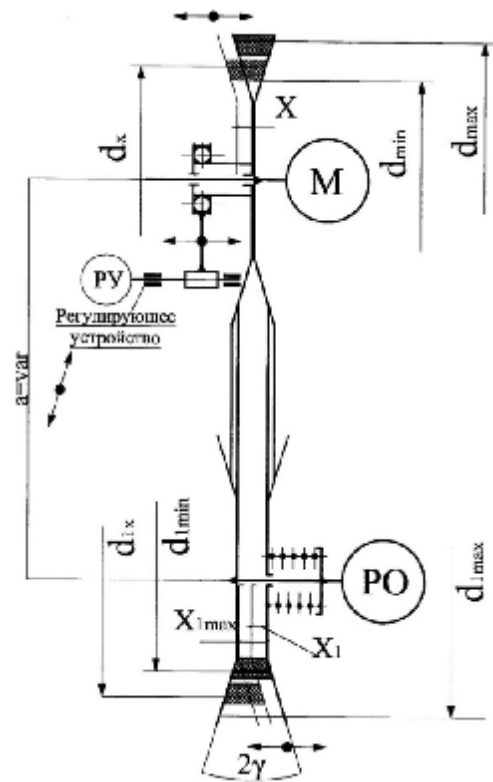


Рис. 2. Вариатор с двумя раздвижными шкивами и несимметричным регулированием.

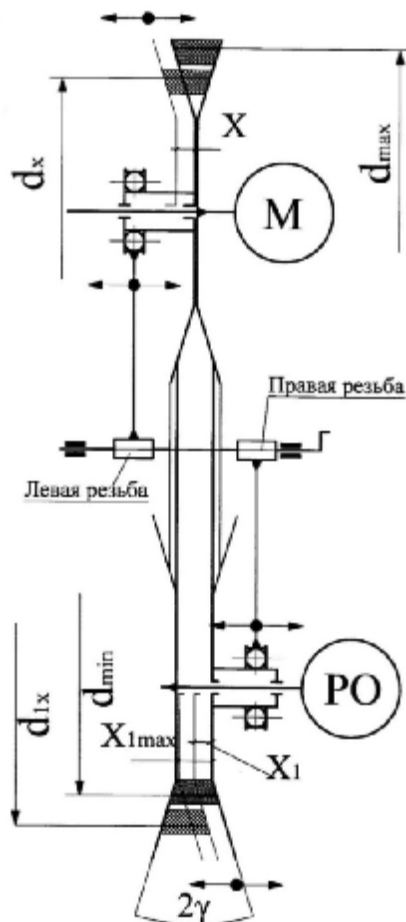


Рис. 3. Вариатор с симметричным регулированием и принудительным перемещением подвижных дисков

В режиме установившегося движения распорное усилие Q_1 , действующее со стороны клинового ремня на подвижный диск ведомого шкива при любом его положении, согласно [1] определяется равенствами (2.10), либо (2.19):

$$Q_1 = \frac{1}{2tg(g+r_R)} \left[2F_0(x_1)a_{1c} - \frac{F_t}{f'} \right] + \frac{F_2 a_{1n}}{2tg(g+r)},$$

где g – половина угла профиля канавки шкива;
 r_R – угол трения между ремнем и канавкой шкива в радиальном направлении;
 $F_0(x_1)$ – усилие от предварительного натяжения ремня;
 f' – приведенный коэффициент трения;
 a_{1c} – угол скольжения дуги обхвата ремнем ведомого шкива;
 F_t – окружное усилие, передаваемое ремнем;
 a_{1n} – угол покоя дуги обхвата ремнем ведомого шкива;
 F_2 – усилие в сбегавшей ветви ремня.

В тоже время усилие Q_1 равно упругой силе пружины, т.е.

$$Q_1 = F_{1y}(x_1) = \frac{1}{2tg(g+r_R)} \left[2F_0(x_1)a_{1c} - \frac{F_t}{f'} \right] + \frac{F_2 a_{1n}}{2tg(g+r)}. \quad (1)$$

Учитывая, что $F_2 = F_0 - 0,5F_t$, после преобразования равенства (1) получаем:

$$F_0(x_1) = \frac{2tg(g+r)tg(g+r_R)}{tg(g+r) + 2a_{1c}tg(g+r_R)} \left\{ F_{1y}(x_1) + F_t \frac{f'tg(g+r_R) + 2tg(g+r)}{4f'tg(g+r)tg(g+r_R)} \right\}. \quad (2)$$

Из последнего выражения видно, что даже при постоянном значении окружной силы F_t усилие предварительного натяжения ремня изменяется при регулировании вариатора и в значительной степени зависит от жесткости пружины. Если же момент сопротивления на рабочем органе (а значит и на ведомом шкиве) не зависит от частоты его вращения, т.е. $T_2 = const$ и, следовательно, окружное усилие F_t растет по мере увеличения передаточного отношения вариатора (когда подвижный диск ведомого шкива удаляется от неподвижного), то усилие $F_0(x_1)$ получает дополнительное возрастание не только от увеличения упругой составляющей силы пружины, но и от возрастая окружной силы F_t .

Как следует из (2) и в первом и во втором случаях предварительное натяжение ремня $F_0(x)$ не остается постоянным и зависит от координаты x_1 . При этом минимальное значение $F_0(x_1)$ будет в том случае, когда $F_{1y} = \min$ ($i_g = \max$; $d_1 = d_{1\max}$), т.е. в положении, когда диски ведомого шкива сдвинуты (ремень охватывает максимальный диаметр шкива). Усилие предварительного сжатия пружины согласно (1) определится по формуле:

$$F_{1y}(x_0) = F_0 \left[\frac{1}{2tg(g+r)} + \frac{a_{1c}}{tg(g+r_R)} \right] - F_{t\min} \left[\frac{1}{4tg(g+r)} + \frac{1}{2f'tg(g+r_R)} \right]. \quad (3)$$

здесь x_0 - предварительная деформация пружины;

$F_{t\min} = \frac{2T_2}{d_{1\max}}$ - минимальное окружное усилие, передаваемое ремнем.

Для снижения существенного влияния усилия F_{1y} на усилие предварительного натяжения ремня $F_0(x)$ следует в его конструкции использовать пружины с возможно малой жесткостью.

Рассмотрим вариатор с симметричным регулированием (рис. 3), у которого минимальные и максимальные диаметры ведущего и ведомого шкивов соответственно равны между собой. Конструктивно регулирование у них может осуществляться двумя способами:

- регулирующее устройство устанавливается на ведущем шкиве, а диск ведомого шкива подпружинен, как показано на рисунке 2;
- подвижные диски шкивов связываются с регулирующим устройством и при изменении передаточного числа диски, получая равные перемещения, движутся в разные стороны.

Ранее было отмечено за счет чего происходит изменение усилия предварительного натяжения ремня вариатора с подпружиненным диском. В случае же принудительного перемещения дисков (рис. 3) натяжение ремня изменяется вследствие переменности его деформации при различных передаточных отношениях вариатора.

Длина ремня и текущие значения диаметров шкивов d_{x1} и d_{x2} ведущего и ведомого шкивов соответственно связаны с длиной ремня l известной зависимостью (табл. 1)

Таблица 1

Зависимость относительного удлинения ремня e_l от передаточного отношения вариатора i_e .

Координата x	Диаметр d_{x1}	Диаметр d_{x2}	Передаточное отношение i_e	Длина ремня l	Абсолютное удлинение Δl	Относительное удлинение e_l
0	d_{\max}	$0,5d_{\max}$	0,500	$6,386d_{\max}$	0,00	0
$0,1 x_{\max}$	$0,95d_{\max}$	$0,55d_{\max}$	0,579	$6,375d_{\max}$	$-0,011d_{\max}$	$-1,723 \cdot 10^{-3}$
$0,2 x_{\max}$	$0,9d_{\max}$	$0,6d_{\max}$	0,667	$6,366d_{\max}$	$-0,02d_{\max}$	$-3,131 \cdot 10^{-3}$
$0,3 x_{\max}$	$0,85d_{\max}$	$0,65d_{\max}$	0,765	$6,36d_{\max}$	$-0,026d_{\max}$	$-4,071 \cdot 10^{-3}$
$0,4 x_{\max}$	$0,8d_{\max}$	$0,7d_{\max}$	0,875	$6,356d_{\max}$	$-0,0264d_{\max}$	$-4,134 \cdot 10^{-3}$
$0,5 x_{\max}$	$0,75d_{\max}$	$0,75d_{\max}$	1,00	$6,355d_{\max}$	$-0,0265d_{\max}$	$-4,15 \cdot 10^{-3}$
$0,6 x_{\max}$	$0,7d_{\max}$	$0,8d_{\max}$	1,143	$6,356d_{\max}$	$-0,0264d_{\max}$	$-4,134 \cdot 10^{-3}$
$0,7 x_{\max}$	$0,65d_{\max}$	$0,85d_{\max}$	1,307	$6,36d_{\max}$	$-0,026d_{\max}$	$-4,071 \cdot 10^{-3}$
$0,8 x_{\max}$	$0,6d_{\max}$	$0,9d_{\max}$	1,500	$6,366d_{\max}$	$-0,02d_{\max}$	$-3,131 \cdot 10^{-3}$
$0,9 x_{\max}$	$0,55d_{\max}$	$0,95d_{\max}$	1,727	$6,375d_{\max}$	$-0,011d_{\max}$	$-1,723 \cdot 10^{-3}$
$1,0 x_{\max}$	$0,5d_{\max}$	d_{\max}	2,000	$6,386d_{\max}$	0,00	0,00

$$l = 2a + \frac{p}{2}(d_{x1} + d_{x2}) + \frac{(d_{x2} - d_{x1})}{4a}, \tag{4}$$

где $d_{x1} = d_{\max} - xctgg$;

$d_{x2} = d_{\min} + xctgg$;

X – перемещение дисков шкивов, определяющее их положение относительно неподвижных дисков (при $d_{x1} = d_{\max}$ координата $x = 0$ и $d_{x2} = d_{\min}$);

a – межосевое расстояние вариатора (оно неизменно).

Принимая во внимание, что максимальные перемещения дисков шкивов равны между собой и определяются равенством $x_{\max} = x_{i_{\max}} = (d_{\max} - d_{\min})tg\gamma$ и $i_e \approx \frac{d_{2x}}{d_{1x}}$, в таблицу 1 сведены данные изменения абсолютной и относительной длины ремня при $a = 2d_{\max}$ и $d_{\max} = 2d_{\min}$.

Для прорезиненных ремней модуль упругости колеблется в пределах $E = 100 \dots 200$ МПа, поэтому максимальное падение напряжения от предварительного натяжения ремня при $i_e = 1$ составляет $s_0 = 0,415 \dots 0,830$ МПа. На рисунке 4 представлен график изменения напряжения $s_0 = f(i_e)$.

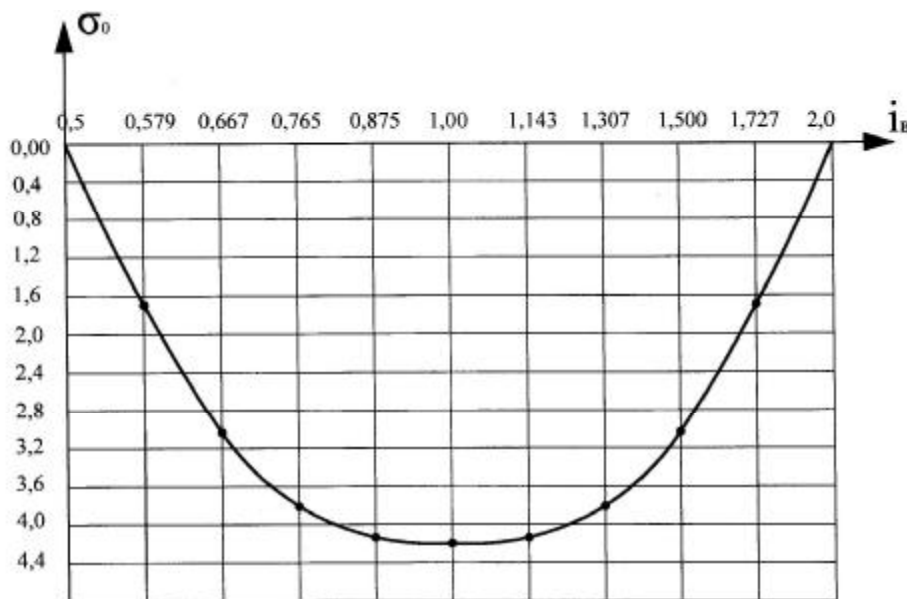


Рис. 4. График изменения напряжения от усилия предварительного натяжения ремня

Учитывая, что для вариаторных прорезиненных ремней рекомендуется принимать напряжение от предварительного натяжения ремня $s_0 \leq 1,5$ МПа, то очевидно утверждение о существенном влиянии передаточного отношения вариатора на величину этого усилия.

Как видно из графика (рис. 4), напряжение S_0 принимает максимальные свои значения при максимальном и минимальном передаточных отношениях вариатора. Следовательно, тяговое усилие вариатора принимает свое минимальное значение при $i_g = 1$. С целью повышения тяговой способности рекомендуется при конструировании дисков регулируемых шкивов изменять угол профиля канавки таким образом, чтобы в зоне $i_g \approx 1$ угол $2g$ имел меньшее значение, чем в других зонах. Это приводит к повышению приведенного коэффициента трения между ремнем и дисками шкивов, что способствует повышению тяговой способности вариатора.

Литература

1. Мальцев В.Ф. Определение распорных усилий на дисках шкивов клиноременных передач / В.Ф. Мальцев, П.А. Ковалев, А.Г. Аванесьянц // Сб. «Детали машин». Техника. – 1974. – № 19. – С 46 - 52.
2. Пронин Б. А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи / Б.А. Пронин, Г. Ревков. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
3. Заблонский К.И.. Плавнорегулируемые передачи / К.И. Заблонский, А.Е. Шустер. – К.: «Техника», 1975. – 272с.

Рецензія/Peer review : 2.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.83.062

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, С.А. РОМАШКЕВИЧ

Одесская национальная академия пищевых технологий

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ СЕПАРАТОРА МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО ХОДА

В роботі вивчений характер руху сепаратора з роликками відносно зірочки у вільному русі. Складені фізична і математична моделі механізму вільного ходу з циліндричними роликками з внутрішньою і зовнішньою зірочкою при одночасному русі обидвома і зірочки. Отримані вирази, що дозволяють з'ясувати умови початку руху системи сепаратора з циліндричними роликками відносно зірочки при заданому притисковому зусиллі. Визначена величина сили пружини загально сепараторного притискового пристрою, при якій забезпечується безконтактний режим функціонування сепараторних механізмів вільного ходу у вільному русі залежно від величини кутової швидкості обертання зірочки з урахуванням її нерівномірності руху. Також отримані вирази, що визначають умови, при яких роликки знаходяться у контакті з поверхнями обидвома і зірочки, готові до заклинювання. Приведені графіки зон контактного руху роликків і виходу механізму вільного ходу на безконтактний режим. Встановлено, що на зміну зон функціонування механізмів при заданих режимах руху доцільно впливати шляхом зміни притискового зусилля пружини, а при несталих режимах руху моментом інерції сепаратора.

Ключові слова: механізм вільного ходу, сепаратор с циліндричними роликками, притисковне зусилля пружини.

ROBERT VACHAGANOVICH AMBARTSUMYANTS, SERGEY ALEKSANDROVICH ROMASHKEVICH

Odessa national academy of food technologies

DETERMINING THE CONDITIONS OF THE FREE – WHEEL MECHANISM SEPARATOR

Abstract – When designing the free – wheel mechanisms with separators, it's very important to provide their functioning in the given movement conditions. For wider application of free – wheel mechanisms with separators in engineering, it's advisable to determine the conditions, under which the rollers will contact to surfaces of the rollers will contact to surfaces of the casing sprocket. It's also very important to provide shifting of the rollers together with a separator to the wide part of the wedge – shaped space during prolonged free movement, that decreases friction losses.

The aim of the work is study of movement of separator with rollers relatively to the sprocket in free movement. Physical and mathematical models of the free – wheel mechanism with cylindrical rollers, with inner and outer sprocket under simultaneous movement of casing and sprocket, have been composed. The expressions, allowing to find out the conditions of the beginning of movement of the separator with cylindrical rollers system relatively to the sprocket under the given clamping effort, have been written. The magnitude of force of the spring of the common to all separators clamping device, under which the contactless conditions of functioning of separator free – wheel mechanisms are provided in free – wheel mechanisms are provided in free movement depending on magnitude of angular speed of the sprocket rotation, taking into account its nonuniformity of movement, has been determined. Also the expressions determining the conditions, under which rollers will be in contact to the surfaces of casing end will be ready for jamming, have been received.

Study of the obtained dependences has been carried out as applied to the separator free – wheel mechanism with inner and outer sprocket. The diagrams of the contact movement zone and transfer of the free – wheel mechanism to the contactless conditions, have been given. It has been proved, that change of the zones of mechanisms functioning under given conditions of movement advisable to be affected by change of clamping effort of the spring, and as for unsettled conditions of movement by the moment inertia of the separator.

Keywords: free-wheeling mechanism, separator with cylindrical rollers, rider effort of spring.

Работа механизма свободного хода (MCX) характеризуется следующими процессами: заклиниванием, заклиненным состоянием, расклиниванием и свободным ходом. По характеру

функционирования МСХ можно разделить на два вида. МСХ преобразующих механизмов различных импульсных механических передач (вариаторы, инерционные трансформаторы вращающего момента и др.), работают с частотой до 100 включений в секунду, относятся к МСХ с частыми включениями, в них периоды заклиненного состояния чередуются с небольшими периодами свободного движения; МСХ комплексных гидротрансформаторов ряда строительно-дорожных машин работают циклически с частотой, не превышающей 10 включений в минуту [1, 2]. У этого вида МСХ периоды заклинивания и заклиненного состояния чередуются с незначительными по времени периодами свободного движения; МСХ автоматических коробок передач автомобилей, механизмов подач металлорежущих станков и другие работают с длительным периодом свободного хода, который превышает более половины времени их эксплуатации.

После расклинивания МСХ сепаратор с телами заклинивания может совершать вращательное движение относительно звездочки, с которой он связан упругим звеном – общесепараторным прижимным устройством. МСХ бывают с внутренней или наружной звездочкой.

В цикле работы роликовых МСХ важным является период свободного движения. Здесь характер движения системы подпружиненного сепаратора с роликами обуславливает потери в МСХ на трение и износ его рабочих элементов, готовность к заклиниванию. Также, движение сепаратора с роликами оказывает влияние на длительность цикла работы механизма и предельную частоту включения МСХ, что имеет решающее значение для механизмов первого вида.

Исключить явление износа возможно за счет функционирования МСХ в «бесконтактном» режиме, когда ролики теряют контакт с внутренней обоймой или звездочкой.

Для роликовых МСХ с индивидуальными прижимными устройствами период свободного движения достаточно изучен теоретически и экспериментально [1, 2]. Применение сепараторных прижимных устройств МСХ позволяет повысить нагрузочную способность и избавиться от колебаний ролика в МСХ с индивидуальными прижимами.

Применение сепараторных механизмов повышенной нагрузочной способности ограничивается, так как они остаются до сих пор не изученными.

Изучение характера движения сепаратора с роликами относительно звездочки в процессе потери роликами внутреннего контакта или перехода роликов на контактное движение с рабочими поверхностями обоймы и звездочки, то есть готовность к заклиниванию, направлено на выявление условий, обеспечивающих функционирование МСХ при заданных режимах его работы.

С целью разработки обоснованной методики расчета МСХ с сепараторными прижимными устройствами, совершенствования их конструкций и более широкого внедрения в системах современных машин необходимо провести теоретические исследования периода свободного движения этих механизмов.

Задачами исследований являются:

- исследование условий начального движения системы сепаратора с цилиндрическими роликами относительно звездочки при заданном прижимном усилии;
- определение величины прижимного усилия, обеспечивающего контактный или бесконтактный режимы функционирования сепараторных МСХ в свободном движении в зависимости от величины угловой скорости вращения сепаратора;

Схемы механизмов свободного хода с сепаратором и с действующими на ролики и сепаратор силами и моментами сил для наиболее общего случая движения показаны на рисунке 1. МСХ состоит из внутренней (рис. 1 а) или наружной (рис. 1 б) звездочки 2, цилиндрической обоймы 1, цилиндрических роликов 3, которые размещены в сепараторе 4. Сепаратор связан со звездочкой посредством пружины 5. Обойма и звездочка вращаются с переменными угловыми скоростями ω_1 и ω_2 , а ролики вращаются вокруг своих осей с угловой скоростью ω_p .

Период свободного движения наступает всегда при таком взаимном направлении угловых скоростей обоймы ω_1 и звездочки ω_2 и таком соотношении их величин, которые обуславливают перемещение сепаратора 4 с роликами 3 в широкую часть клинового пространства (рис. 1). При этом происходит сжатие пружины 5. Свободное движение может протекать при однонаправленном или разнонаправленном вращении обоймы и звездочки.

Для более широкого использования МСХ с сепараторами в технике, целесообразно определить условия, при которых ролики будут находиться в контакте с поверхностями обоймы и звездочки – готовы к заклиниванию. Также важно обеспечить перемещение роликов совместно с сепаратором в широкую часть клинового пространства при длительном свободном движении. При этом уменьшаются потери на трение роликами с поверхностями звездочки или обоймы.

Условия движения подпружиненного сепаратора не всегда выполняются. Это зависит от величины начального прижимного усилия пружины F_{n0} , величины угловой скорости звездочки ω_2 , а также от сил трения, возникающих в контактах роликов с поверхностями обоймы и звездочки. Влияние сил трения в значительной мере зависит от состояния поверхности и от характера движения роликов в окнах сепаратора, а именно есть вращение вокруг своих осей или нет. Таким образом, для решения задачи по определению начального перемещения сепаратора с роликами в широкую часть клинового пространства, необходимо чтобы выполнялось условие – ролики должны вращаться вокруг своих осей. Для МСХ с индивидуальными

прижимными устройствами эти вопросы достаточно полно изучены теоретически и экспериментально в работе [1]. Теоретические положения о движении роликов в период свободного хода в МСХ с индивидуальными прижимами без всяких изменений можно применить к МСХ с сепараторными прижимными устройствами.

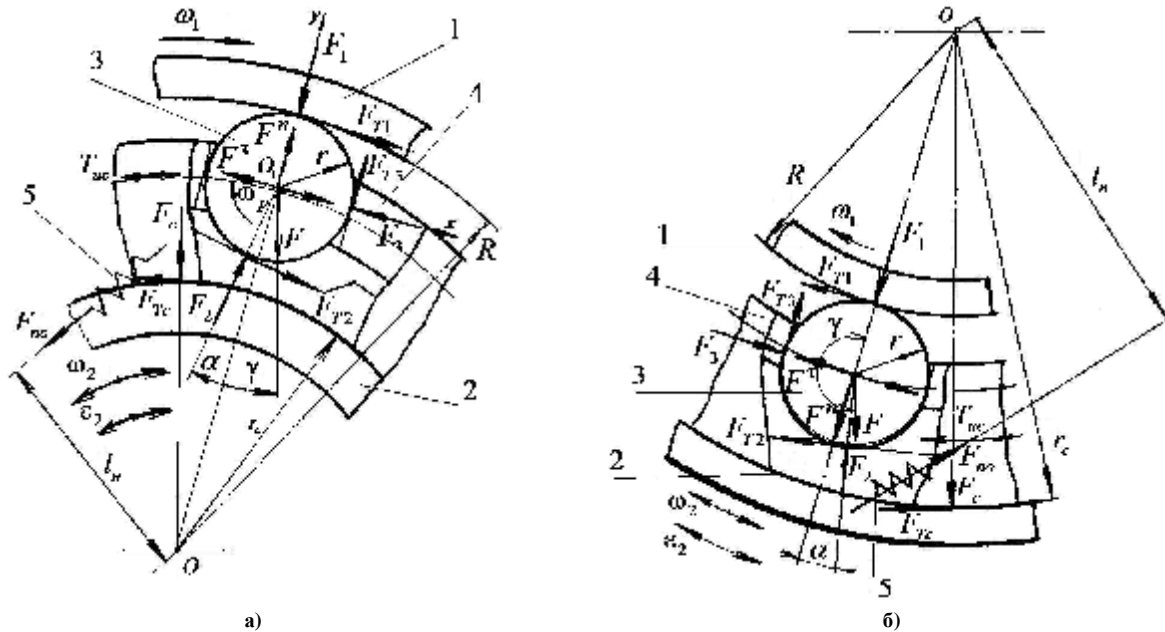


Рис. 1. Схемы роликовых механизмов свободного хода: а – с внутренней звездочкой; б – с наружной звездочкой

Для определения условий начала движения сепаратора с роликами следует рассматривать в наиболее общем случае, а именно обойма и звездочка МСХ подвижны. При этом для МСХ с внутренней звездочкой условие вращения роликов вокруг своих осей выполняется, а МСХ с наружной звездочкой – не выполняется.

Введем следующие обозначения:

$F_1; F_2; f_1; f_2$ – нормальные реакции и коэффициенты трения скольжения на поверхности контакта ролика с обоймой и звездочкой соответственно;

$F_3; f_3$ – начальное прижимное усилие, коэффициент трения скольжения на поверхности контакта ролика и сепараторного прижима соответственно;

$F^t; F^n$ – тангенциальная и нормальная составляющие силы инерции ролика;

F – сила тяжести ролика;

T_{uc} – момент силы инерции сепаратора;

R – радиус обоймы;

r – радиус ролика;

$l = R \mathbf{m} r$ – радиус окружного расположения центров роликов МСХ;

a – угол заклинивания ролика;

g_i – угол, определяющий направление линии действия усилия тяжести i -того ролика относительно оси Y , соединяющей центры МСХ и ролика;

z – количество роликов.

Согласно обозначениям на рисунках 1 а и б, запишем уравнения динамического равновесия сепаратора с роликами в виде суммы моментов всех действующих сил относительно точки O механизма (рис. 1) $\sum T_O = 0$ и суммы проекций всех сил на ось Y , которая направляется через центры МСХ и ролика

$$\sum Y = 0:$$

$$z f_1 F_1 R + z F_2 l \sin a + z F_2 f_2 (l \cos a \mathbf{m} r) - z F_3 l \mathbf{m} z f_3 F_3 r + \sum_{i=1}^z F l \sin g_i \mathbf{m}$$

$$\mathbf{m} z F^t l \mathbf{m} T_{uc} - T_{Tc} = 0; \tag{1}$$

$$\mathbf{m} F_1 \pm F_2 \cos a \mathbf{m} f_2 F_2 \sin a \pm f_3 F_3 + F^n \mathbf{m} F \cos g_i = 0, \tag{2}$$

где T_{Tc} – момент силы трения сепаратора о направляющую поверхность звездочки.

В этих и последующих выражениях верхние знаки соответствуют механизмам с внутренней

звездочкой (рис. 1 а), нижние – механизмам с наружной звездочкой (рис. 1 б). Знаки при тангенциальной силе инерции роликов F^t и моменте силы инерции сепаратора T_{uc} – верхний знак соответствует направлению ускорения звездочки по направлению вращения часовой стрелки (в широкую часть клинового пространства), нижний – против хода стрелки (рис. 1).

Так как ролики в окнах сепаратора расположены по окружности равномерно, то в уравнении (1)

$$\text{член } \sum Fl \sin g_i = 0.$$

Величина $zF_3 = F_{n0}$ – начальное прижимное усилие, действующее на сепаратор.

В результате совместного решения уравнений равновесия (1) и (2) находим нормальные реакции F_1 и F_2 :

$$F_1 = \frac{1}{z[f_1 R(\cos a - f_2 \sin a) + l(\sin a + f_2 \cos a) \pm f_2 r]} \times \left\{ F_{no} \left\{ l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] \pm r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)] \right\} \pm \left[\pm zF^n [l(\sin a + f_2 \cos a) \mathbf{m} f_2 r] \pm zF^t l(\cos a - f_2 \sin a) + T_{Tc}(\cos a - f_2 \sin a) \right] \right\} \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{1}{z[f_1 R(\cos a - f_2 \sin a) + l(\sin a + f_2 \cos a) \pm f_2 r]} \times \left[F_{no} (l \pm f_3 r - f_1 f_3 R) \mathbf{m} z f_1 R F^n \pm zF^t l \pm T_{uc} + T_{mc} \right] \quad (4)$$

Сепаратор остается неподвижным, если выполняется условие контакта роликов с рабочими поверхностями обоймы и звездочки при силах $F_1 > 0$ и $F_2 > 0$.

Силы инерции ролика, момент силы инерции и момент силы трения сепаратора определяются выражениями:

$$F^n = mlw_2^2; \quad (5)$$

$$F^t = mle_2; \quad (6)$$

$$T_{uc} = e_2 I_0; \quad (7)$$

$$T_{Tc} = F_0 f_c r_c. \quad (8)$$

После подстановки выражений (5), (6), (7) и (8) в выражения (3) и (4) получаем величины общего начального прижимного усилия, обеспечивающего контакт роликов с поверхностями обоймы и звездочки при условии, что $F_1 > 0$ и $F_2 > 0$. Соответственно получаем выражение, по которому можно получить величину прижимного усилия общесепараторного прижимного устройства МСХ: с внутренней обоймой для обеспечения контактного движения роликов

$$F_{n01} > \frac{1}{l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] \pm r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)]} \times \left\{ \mathbf{m} z m l w_2^2 [l(\sin a + f_2 \cos a) \mathbf{m} f_2 r] \mathbf{m} e_2 (\cos a - f_2 \sin a) \cdot (z m l^2 + I_0) - F_0 r_c f_c \right\}. \quad (9)$$

Аналогично получаем выражение, по которому можно получить величину прижимного усилия общесепараторного прижимного устройства МСХ с внутренней звездочкой для обеспечения контактного движения роликов

$$F_{n02} > \frac{1}{l \pm f_3 r - f_1 f_3 R} \left[\pm z m l w_2^2 f_1 R \mathbf{m} e_2 (z m l^2 + I_0) - F_0 r_c f_c \right], \quad (10)$$

где $F_0 = F_c + F \sum_{i=1}^z \sin^2 g_i$ – усилие тяжести системы сепаратора с роликами;

F_c – усилие тяжести сепаратора;

$I_0 = I_c + z I_p$ – момент инерции системы сепаратора с роликами;

I_c – момент инерции сепаратора;

I_p – момент инерции ролика относительно центра МСХ;

m – масса ролика;

w_2 и e_2 – угловая скорость и угловое ускорение звездочки;

r_c – радиус центрирующей поверхности сепаратора и звездочки.

Из выражений (3) и (4) с учетом (5), (6), (7) и (8) при условии, что $F_1 > 0$ и $F_2 > 0$ определяем

максимальную угловую скорость звездочки $w_{21\max}$ и $w_{22\max}$, при которой сепаратор будет неподвижным, ролики находятся в контакте с рабочими поверхностями соответственно обоймы и звездочки:

- для МСХ с наружной звездочкой

$$w_{21\max} < \sqrt{\frac{1}{zml[l(\sin a + f_2 \cos a) + f_2 r]} \left\{ F_{no} \begin{Bmatrix} l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] - \\ - r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)] \end{Bmatrix} \mathbf{m} \right\}} \quad (11)$$

- для МСХ с внутренней звездочкой

$$w_{22\max} < \sqrt{\frac{1}{zmlf_1 R} [F_{no}(l + f_3 r - f_1 f_3 R) \pm e_2(zml^2 + I_0) + F_0 r_c f_c]}. \quad (12)$$

В МСХ с длительным периодом свободного движения, уменьшение потерь на трение обеспечивается функционированием при потере роликами контакта с внутренней звездочкой или обоймой.

Для обеспечения «бесконтактного» режима МСХ необходимое условие, обеспечивающее начальное движение сепаратора с роликами в широкую часть клинового пространства, получим из уравнения (1) принимая последовательно $F_2 = 0$ и $F_1 = 0$.

Имеем:

- для МСХ с внутренней звездочкой

$$zF_3(l + f_3 r) \leq z f_1 F_1 R \mathbf{m} z F^t l \mathbf{m} T_{uc} - T_{Tc}; \quad (13)$$

- для МСХ наружной звездочкой

$$zF_3(l - f_3 r) \leq z F_2 [l(\sin a + f_2 \cos a) + f_2 r] \mathbf{m} z F^t l \mathbf{m} T_{uc} - T_{Tc}. \quad (14)$$

Из уравнения (2) для величины нормальных реакций F_1 и F_2 в контакте роликов, соответственно с наружной обоймой и наружной звездочкой находим:

$$F_1 = f_3 F_3 + F^n; \quad (15)$$

$$F_2 = \frac{F^n - f_3 F_3}{\cos a - f_2 \sin a}. \quad (16)$$

После подстановки выражений (15) и (16) в неравенства (13) и (14) с учетом (5), (6), (7) и (8) получаем величины прижимных усилий, обеспечивающих потерю роликами внутреннего контакта для сепараторных МСХ, соответственно, с внутренней и наружной звездочками:

$$F_{no2} \leq \frac{1}{l + f_3 r - f_1 f_3 R} [zmlw_2^2 f_1 R \mathbf{m} e_2 (zml^2 + I_0) - F_0 f_c r_c]; \quad (17)$$

$$F_{no1} \leq \frac{1}{l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] - r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)]} \times \left\{ zmlw_2^2 [l(\sin a + f_2 \cos a) + f_2 r] \mathbf{m} e_2 (\cos a - f_2 \sin a) (zml^2 + I_0) - \right. \\ \left. - F_0 f_c r_c (\cos a - f_2 \sin a) \right\}. \quad (18)$$

Значение угловой скорости звездочки, при которой должно выполняться условие начала относительного движения системы сепаратора с роликами находим по выражениям:

- для МСХ с внутренней звездочкой

$$w_{22} \geq \sqrt{\frac{F_{no}(l + f_3 r - f_1 f_3 R) \pm e_2(zml^2 + I_0) + F_0 f_c r_c}{zmlf_1 R}}; \quad (19)$$

- для МСХ с наружной звездочкой

$$w_{21} \geq \sqrt{\frac{1}{zml[l(\sin a + f_2 \cos a) + f_2 r]} \left\{ F_{no} \begin{Bmatrix} l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] - \\ - r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)] \end{Bmatrix} \mathbf{m} \right\}} \quad (20)$$

При известных законах изменения угловой скорости $w_2(t)$ и ускорения $e_2(t)$ или величине начального прижимного усилия F_{no} общесепараторного прижимного устройства можно определить зоны функционирования МСХ при наличии контакта или его отсутствия с рабочими поверхностями обоймы и звездочки.

Проведены исследования зависимостей (9) и (10), также (17) и (18) применительно к сепараторному МСХ с внутренней звездочкой главного редуктора вертолета [3] со следующими параметрами: $z = 18$;

$R=0,09$ м; $r_c=0,0675$ м; $l_n=0,0675$ м; $a=7^0$; $m=0,035$ кг; $F_c=11,5$ Н; $I_c=5,16 \cdot 10^{-2}$ кг·м²; $f_1=f_2=f_3=0,1$; $f_c=0,13$.

На рисунке 2 а приведены графики зависимости прижимных усилий для МСХ с внутренней звездочкой от угловой скорости $\omega_2 = 0 \dots 100 \text{ c}^{-1}$ при угловом ускорении $e_2 = 0$ (кривая 1) и $e_2 = 10 \text{ c}^{-2}$ (кривые 2 и 3), направленном по часовой стрелке и соответственно против (рис. 1,а).

Аналогичные исследования проведены для сепараторного МСХ с наружной звездочкой, который отличается от МСХ с внутренней звездочкой только размерами $R=0,072$ м, $r_c=0,09$ м. Изменение прижимного усилия для МСХ с наружной звездочкой при вышеуказанных значениях угловой скорости, а также углового ускорения показано кривыми 4, 5, 6 (рис. 2).

Значение начального прижимного усилия, при котором ролики теряют контакт со звездочкой в МСХ с внутренней звездочкой, определять по выражению (17), а для МСХ с наружной звездочкой, когда ролики отрываются от внутренней обоймы по выражению (18). Согласно графикам на рисунке 2 а можно определить зоны контактного движения роликов со звездочкой и обоймой и зоны выхода МСХ на бесконтактный режим.

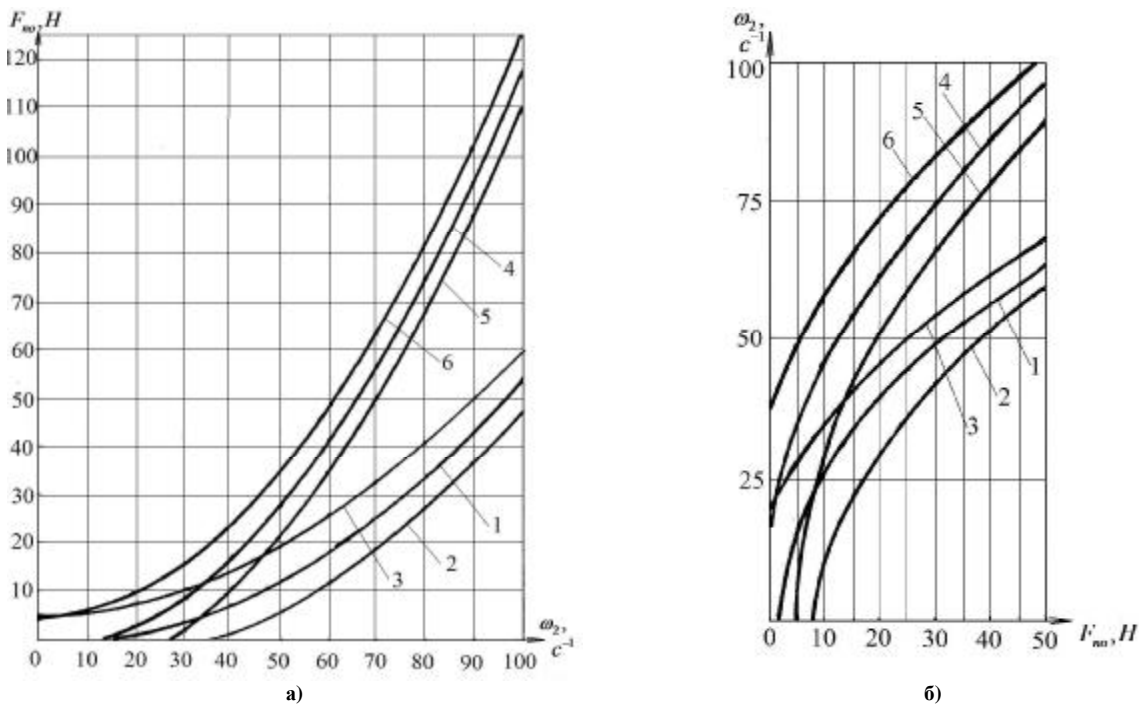


Рис. 2. Графики изменения: а) – прижимных усилий; б) – угловых скоростей механизмов свободного хода: 1, 2, 3 – с внутренней звездочкой; 4, 5, 6 – с наружной звездочкой

Проведены исследования зависимостей (11) и (12), также (19) и (20) применительно к указанному ранее сепараторному МСХ с внутренней и наружной звездочкой. Определены величины угловых скоростей, обеспечивающих потерю роликом внутреннего контакта для МСХ с внутренней звездочкой и наружной звездочкой определять соответственно по выражениям (19) и (20).

На рисунке 2 б приведены графики зависимости угловых скоростей для МСХ с внутренней и наружной звездочкой от прижимных усилий $F_{no} = 0 \dots 50 \text{ H}$ при угловом ускорении $e_2 = 0$ (кривая 1) и $e_2 = 10 \text{ c}^{-2}$ (кривые 2 и 3), направленном по часовой стрелке и соответственно против (рис. 1). Изменение угловых скоростей для МСХ с наружной звездочкой при вышеуказанных значениях прижимного усилия, а также углового ускорения показано кривыми 4, 5, 6 (рис. 2 б).

Изменяя величины, входящие в выражения (9), (10), (11), (12), (17), (18), (19) и (20), можно влиять на расположение зон функционирования МСХ в свободном движении.

Анализируя, результаты исследования заключаем:

1. Качественный характер изменения прижимных усилий, гарантирующих контактное движение роликов или обеспечивающих потерю внутреннего контакта, одинаков.
2. Контакт роликов с рабочими поверхностями обоймы и звездочки определяется зоной, находящейся над расчетной кривой (рис. 2 а), так как ниже ее ролики теряют контакт.
3. Угловые ускорения звездочки e_2 , направленные по часовой стрелке (рис. 1), обуславливают действие сил инерции сепаратора с роликами в узкую часть клинового пространства. При обратном направлении ускорения звездочки способствуют выводу их в широкую часть клинового пространства,

поэтому прижимные усилия существенно возрастают (рис. 2 а).

4. При проектировании МСХ, в которых, по условиям функционирования, требуется постоянный контакт роликов, следует использовать механизм с внутренней звездочкой и по формуле (10) определять прижимное усилие общесепараторного прижимного устройства. Для бесконтактных МСХ – рационально применять наружную звездочку и согласно выражению (18) определять F_{no} .

Литература

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

Рецензія/Peer review : 24.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 629.06

Д.О. ДМИТРИЄВ, Е.С. АППАЗОВ, С.А. РУСАНОВ, О.І. КЛЮЄВ

Херсонський національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗІГРІВУ ДВИГУНА З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ПРИ ПЕРЕДПУСКОВІЙ ПІДГОТОВЦІ

Проведено моделювання процесу розігріву двигуна з тепловим акумулятором при його передпусковій підготовці. Розглянуті питання моделювання фазового переходу в теплоакуюлюючій речовині. Загальне рішення проводилося в два етапи: моделювання окремих частин в CFD системах та розрахунки за методом еквівалентних теплових схем.

Ключові слова: теплоакуюлятор, двигуни внутрішнього згорання, моделювання

D.O. DMITRIEV, E.S. APPAZOV, S.A. RUSANOV, O.I. KLUEV

Kherson national technical university

HEATING THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH A HEAT-ACCUMULATING ELEMENT DURING ENGINE START MODELING

The simulations of the heating process of the engine with a heat-accumulating element during engine start are considerable. The article studies the questions of modeling the phase transition in the heat storage substance. The general solution was carried out in two stages: modeling of individual parts in CFD and calculations by the method of equivalent thermal schemes. Showing solutions for system: heat storage material - circulating fluid - internal combustion engine. The results of the simulation of the heat-accumulating element with a fuzzy boundary phase transition and phase transition in the form of a delta function.

Keywords: heat-accumulating, internal combustion engine, modeling

Вступ. Одним з рішень, що дозволяють мінімізувати негативні наслідки холодного пуску двигунів, є передпускова тепла підготовка двигуна, реалізована за допомогою передпускових підігрівників, зокрема, теплових акумуляторів [1,2]. Акумуляування теплової енергії від різних джерел і її використання при пуску, як вказується в [1], може дати економію палива до $15 \div 20 \%$, а за нашими даними [3] до $7 \div 10 \%$.

Теплота в теплоакуюляторах для передпускового розігріву двигуна запасється робочими тілами, що зберігаються при заданій температурі у твердому або рідкому стані в спеціальних ємностях. Розрізняють наступні основні типи теплоакуюлювання [4]:

- теплове акумуляування енергії твердими й рідкими тілами за рахунок зміни температури речовини – теплоємнісна акумуляція;
- теплове акумуляування енергії за допомогою використання теплоти фазового переходу;
- термохімічне акумуляування теплової енергії.

Постановка задачі. В [2,5] були розглянуті результати розрахункових досліджень гідродинаміки й теплообміну двигуна з визначенням нерівномірності прогріву блоку циліндрів і голівки блоку циліндрів, необхідним часом прогріву для заданих параметрів навколишнього середовища стосовно до акумуляторів теплоти на фазових переходах. Детальне узгодження гідродинамічної задачі в каналах двигуна й теплообміну з фазовим переходом у теплоакуюляторі вимагає ретельної підготовки моделі теплоакуюлятора, яка повинна задовольняти з одного боку вимогам достатньої розрахункової точності, і при цьому мати відносно просту й стійку чисельну реалізацію (дослідження проводяться в рамках щорічного Гранту Президента на 2015 рік для докторів наук згідно договору та технічного завдання між Державним фондом фундаментальних досліджень та Херсонським національним технічним університетом).

Виклад основного матеріалу. Як відомо, на основі теплового балансу для поверхні розділу фаз

звичайно використовується умова Стефана [6]:

$$r_{ms} q_n \frac{\partial s_n}{\partial t} = l_p \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{n \rightarrow +0} - l_{ms} \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{n \rightarrow -0},$$

де s_n – переміщення границі розділу фаз у напрямку нормалі n , τ – час, T – температура, q_n – прихована теплота плавлення, λ_p і λ_{ms} – коефіцієнти теплопровідності рідкої й твердої фази відповідно. Крім зазначеної умови в переважній більшості задач стефанівського типу використовується умова сталості температури на міжфазній границі. Однак, у деяких випадках моделювання процесу плавлення-заморожування робочого тіла бажано здійснювати з використанням методу ефективної теплоємності [7] без явного виділення положення границь фазового переходу, з розрахунком конвективного теплопереносу в розплаві:

$$c_{ef} \mathbf{r} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla T \right) = \nabla (l_{ef} \nabla T) + q,$$

де c_{ef} , λ_{ef} – ефективні значення теплоємності й теплопровідності, які враховують теплоту плавлення в задачі Стефана [7] і наявність конвективного теплопереносу, \mathbf{v} – поле швидкостей (конвективні струми), q – потужність внутрішніх джерел тепла, при їхній наявності. Для розрахунку фазового переходу ефективна теплоємність містить у собі дельта-функцію й представляється у вигляді

$$c_{ef} = c(T) + q_n d(T - T^*),$$

де T^* – температура фазового переходу.

При чисельній реалізації в кінцевому інтервалі температур Δt для точки фазового переходу другий доданок може бути замінений вираженням $q_n/\Delta T$.

Деякі теплоакумуючі речовини є матеріалами із сильно розмитими границями фазових перетворень тверде тіло – рідина. У цих випадках температурний інтервал фазових перетворень може розтягтися на десятки градусів, тому використовується температурна залежність питомої теплоємності $c=c(T)$, яка в області фазового переходу має один або кілька піків, при цьому область фазового переходу буде являти собою не поверхню, а шар [8]. Можлива також наявність переохолодження при кристалізації, що, наприклад, характерно для кристалогідратів без зародкоутворюючих присадок [9], однак на практиці врахування зазначеного явища проводиться рідко.

Чисельні розрахунки системи двигун – циркулююча рідина – теплоакумуючий матеріал – навколишнє середовище були проведені в два етапи. На першому етапі були розраховані параметри теплових опорів в системі двигуна та системи трубопроводів (рис.1) для різних температур теплоносія за методом скінченних об'ємів в CFD-системі, на другому етапі задача чисельно вирішувалась за методом еквівалентних теплових схем [10].

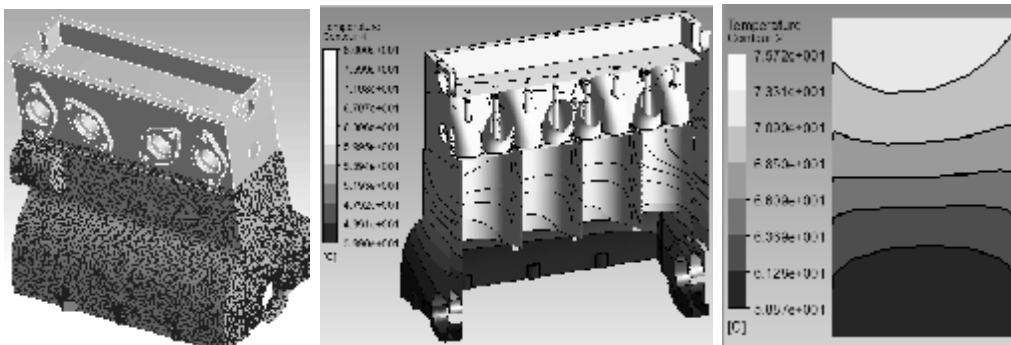


Рис. 1. Модель прогріву двигуна та циліндра за рахунок підводу теплоти від теплоакумуючої речовини.

Таке розбиття задачі на етапи було виконане для зниження потреб в розрахункових ресурсах – повна скінченно-об'ємна модель системи потребує значних комп'ютерних потужностей, у зв'язку з чим доцільно розрахунки повної системи у відповідних CFD програмах проводити на заключному етапі. Система рівнянь теплового стану для кожної ділянки має вигляд:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} + \Lambda_{11}(T_1 - T_2) + \Lambda_{12}(T_1 - T_3) + \Lambda_{13}(T_1 - T_{nc}) = P_1,$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} + \Lambda_{21}(T_1 - T_2) + \Lambda_{22}(T_1 - T_3) + \Lambda_{23}(T_1 - T_{nc}) = P_2,$$

...

або в матричній формі:

$$[C] \cdot \mathbf{T} + [\Lambda] \cdot \mathbf{T} = \mathbf{P},$$

де $[C]$ – матриця теплоємностей (діагональна), \mathbf{T} – стовпець температур вузлів, T_{nc} – температура навколишнього середовища, $[\Lambda]$ – матриця теплових провідностей, \mathbf{P} – вектор потужностей теплових

джерел. Теплоємність, що відповідає теплоакumuлюючій речовині, задається кусковою функцією у відповідності з методом ефективної теплоємності.

Чисельні розрахунки розігріву двигуна за допомогою розрядки теплового акумулятора за вищевказаною методикою для речовин з розмитим (парафін, рис. 2, а) і дельтаподібним фазовим переходом (рис. 2, б) мають характерні області фазового переходу.

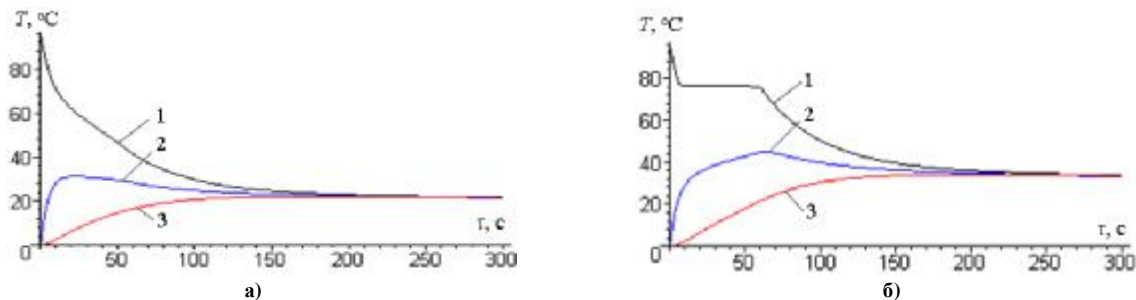


Рис. 2. Результати чисельних розрахунків розігріву двигуна за допомогою розрядки теплового акумулятора а) для речовин з розмитим (модельна речовина - парафін), б) для речовин з дельтаподібним фазовим переходом (за даними для кристалогідратів). 1 – розрядка теплоакumuлюючої речовини, 2 – прогрів охолоджуючої рідини, 3 – розігрів двигуна.

Результати розрахунків добре узгоджуються з експериментальними даними, опублікованими в [1], а модель може бути використана для вибору конструктивних параметрів теплоакumuляторів, обґрунтування застосовності теплоакumuлюючих речовин і прогнозування роботи системи в різних умовах.

Висновки. Розрахунки розігріву при передпусковій підготовці автомобільних двигунів доцільно робити методом ефективної теплоємності з використанням даних по фазових переходах для модельних речовин, використовуваних у якості теплоакumuляторів. Дані по ефективних теплових параметрах двигуна можуть бути отримані розрахунковим шляхом у сучасних CFD системах з можливою тарировкою моделі по наявних натурних експериментах.

Література

1. Пыхтя В. А. Экспериментальные исследования системы предпускового разогрева двигателя с тепловым аккумулятором / В.А. Пыхтя // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 6 (148). – С. 246-251.
2. Косенков И.А. Результаты экспериментальных исследований системы предпусковой подготовки двигателей / А.П. Картошкин, И.А. Косенков, Д.С.Агапов // Сб. науч. трудов Международной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей». – СПб. : СПбГАУ, 2010. – С. 302 – 310.
3. Аппазов Э.С. Решения по использованию теплоаккумуляторов на основе фазового перехода твердое тело – жидкость для предпусковой подготовки автомобильных двигателей / Э.С. Аппазов, О.И. Ключев, С.А. Русанов, К.В. Луняка // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: ВНЗ «ХДМІ», 2014. – С.52–54.
4. Левенберг В.Д. Аккумуляирование тепла / Левенберг В.Д., Ткач М.Р, Гольстрем В.А. – К.: «Техника», 1991. – 112 с.
5. Аппазов Е.С. Моделирование гидродинамических та тепловых процессов при предпусковой подготовке автомобильных двигунів / Е.С. Аппазов, О.И. Ключев, С.А. Русанов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон: Вид-во ХДМА, 2014 - №1(10). – С. 131–136.
6. Эккерт Э.Р. Теория тепло- и массообмена / Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. – М, Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 521 с.
7. Самарский А. А. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана / А. А. Самарский, Б. Д. Моисеенко // Журнал «Вычислительная математика и математическая физика». 1965. – С. 816–827.
8. Россихин Н.А. Расчет и проектирование аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа). Методические указания / Н.А. Россихин. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – 33 с.
9. Мозговой А.Г. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты / А.Г. Мозговой, Э.Э. Шпильрайн и др. – М.: ИВТАН СССР, 1990. – 106 с.
10. Галайко Л.П. Сравнение методов эквивалентных тепловых схем и конечных элементов для теплового расчета вентильно-индукторного двигателя / Л.П. Галайко, Н.А. Гаевская // Вестник НГУ "ХПИ". – 2008. – №25. – С. 18–21.

Рецензія/Peer review : 8.10.2015 р.

Надрукована/Printed :1.11.2015 р.

Рецензент: д. т. н., проф. Клевцов К.М.

**МЕТОД СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ
З ВИКОРИСТАННЯМ ТОЧОК РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ**

Внаслідок проведених досліджень було встановлено, що в шатунній площині важільних механізмів існує новий, раніше невідомий тип особливих точок, при використанні яких в якості шатунних можна отримати шатунні криві з прямолінійними ділянками деякої тривалості. Нові особливі точки, знайдені з використанням методів кінематичної геометрії, названі автором точками розпрямлення 5-го порядку. Показано, що знайдені точки не збігаються з жодними відомими особливими точками шатунної площини та визначають, таким чином, нове сімейство важільних прямолінійно-напрямних механізмів.

Ключові слова: важільні механізми, прямолінійно-напрямні механізми, синтез, точки розпрямлення 5-го порядку, зупинка вихідної ланки.

V.O. KHARZHEVSKYI
Khmelnitskyi National University

**METHOD OF SYNTHESIS OF LINKAGE STRAIGHT-LINE MECHANISMS USING 5TH ORDER
STRAIGHTENING POINTS**

Abstract – The article is dedicated to the synthesis of straight-line four-bar linkage mechanisms. These mechanisms are used in different branches of machinery where straight line path generating is required. Besides, those mechanisms can be used as basic mechanisms for the designing of dwell linkages. It is known that linkage mechanisms have a number of advantages in comparison with the other types of mechanisms, for example cam mechanisms. As a result of carried researches, it was found that a new type of special points in a coupler plane of four-bar linkage can be used for designing a straight-line linkage mechanisms. Those points were named 5th order straightening points and they can be found in a certain position of a coupler plane as intersection of inflexion circle with the curve that is a locus of points with 5th order of tangency with their tangent circles. It was established that such points can be found in every position of coupler plane like Ball's points. The found 5th order straightening points can be used to design a wide range of linkage straight-line mechanisms with different parameters.

Keywords: linkages, straight-line mechanisms, synthesis, 5th order straightening points, dwell.

При проектуванні сучасних машин, у різних галузях машинобудування часто виникає задача забезпечення прямолінійно-напрямого руху або періодичної зупинки вихідної ланки під час неперервного обертального руху вхідної ланки [4,11]. Для цього можуть бути використані різні типи механізмів, зокрема важільні та кулачкові. Як відомо, важільні механізми, мають ряд переваг, оскільки внаслідок відсутності вищих кінематичних пар у своєму складі, такі механізми є більш надійними та довговічними, можуть працювати зі значно більшими робочими швидкостями та мають більшу навантажувальну здатність [4,11]. Переваги важільних механізмів підтверджуються багатьма прикладами їх впровадження в різноманітних машинах та приладах, проте використання таких механізмів на практиці обмежується їх досить складним синтезом, що являє собою одну з найскладніших задач у теорії механізмів та машин.

Як відомо, існує два основних напрямки у синтезі таких механізмів: одним з напрямків є використання алгебраїчних методів Чебишева з використанням умов найкращого наближення функцій [1,4], що полягають у наявності максимально можливої кількості вузлів інтерполяції між заданою та замінювальною функціями з рівномірним характером зміни відхилень. Синтез таких механізмів розглядається, зокрема, у роботах Кіницького [4], Саркісяна [12], Гассманна [11]. Іншим напрямком у синтезі прямолінійно-напрямних механізмів є використання методів кінематичної геометрії, що полягають у використанні певних особливих точок шатунної площини, які дозволяють отримувати шатунні криві з ділянками наближено сталої кривизни – таким чином можна отримувати шатунні криві з наближенням деякої ділянки до дуги кола або прямої лінії. Зокрема, такими особливими точками є точка Болла [1,8] та Чебишева [9,13], в деякому околі від яких на шатунній кривій можна отримати ділянку, що наближається до прямої лінії. Розвитком методів кінематичної геометрії займалися, зокрема, такі вчені як Бурместер, Мюллер, Ліхтенхельдт [6], Бейер [2], Геронімус [3], Черкудінов [1]. Сучасними науковими роботами, в яких розглядається проектування важільних прямолінійно-напрямних механізмів на базі точок Болла є, зокрема, монографія вчених Уанга [15], а також Уїна, Хана [14].

В якості особливих точок шатунної площини можуть бути використані також точки розпрямлення 4-го порядку, що розглядалися автором при проектуванні механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму в роботах [8]. Крім цього, зазначені особливі точки використовувались в роботах Марченко [7] при проведенні синтезу механізмів на базі кривошипно-кулісного механізму.

Метою даної роботи є розробка теоретичних основ для розширення областей існування важільних прямолінійно-напрямних механізмів, які можна синтезувати методами кінематичної геометрії, для отримання механізмів з кращими характеристиками (тривалість, точність наближення тощо).

Розглянемо шарнірно-важільний механізм (рис. 1), точка D якого описує деяку шатунну криву. Очевидно, що форма шатунної кривої буде залежати від параметрів базового шарнірного чотириланкового

механізму, а саме: довжин ланок кривошипа $r=l_{OA}$, шатуна $b=l_{AB}$, коромисла $c=l_{BC}$, а також від положення шатунної точки D , що визначається величиною $k=l_{BD}$ та відповідним кутом злomu шатуна Ω . При проведенні досліджень, відповідно до рекомендацій [1], тут і далі будемо приймати відстань між осями нерухомих шарнірів $d=l_{OC}$ постійною і рівною одиниці, оскільки отримати механізми з іншими величинами d завжди можна за допомогою масштабування всіх інших параметрів кінематичної схеми.

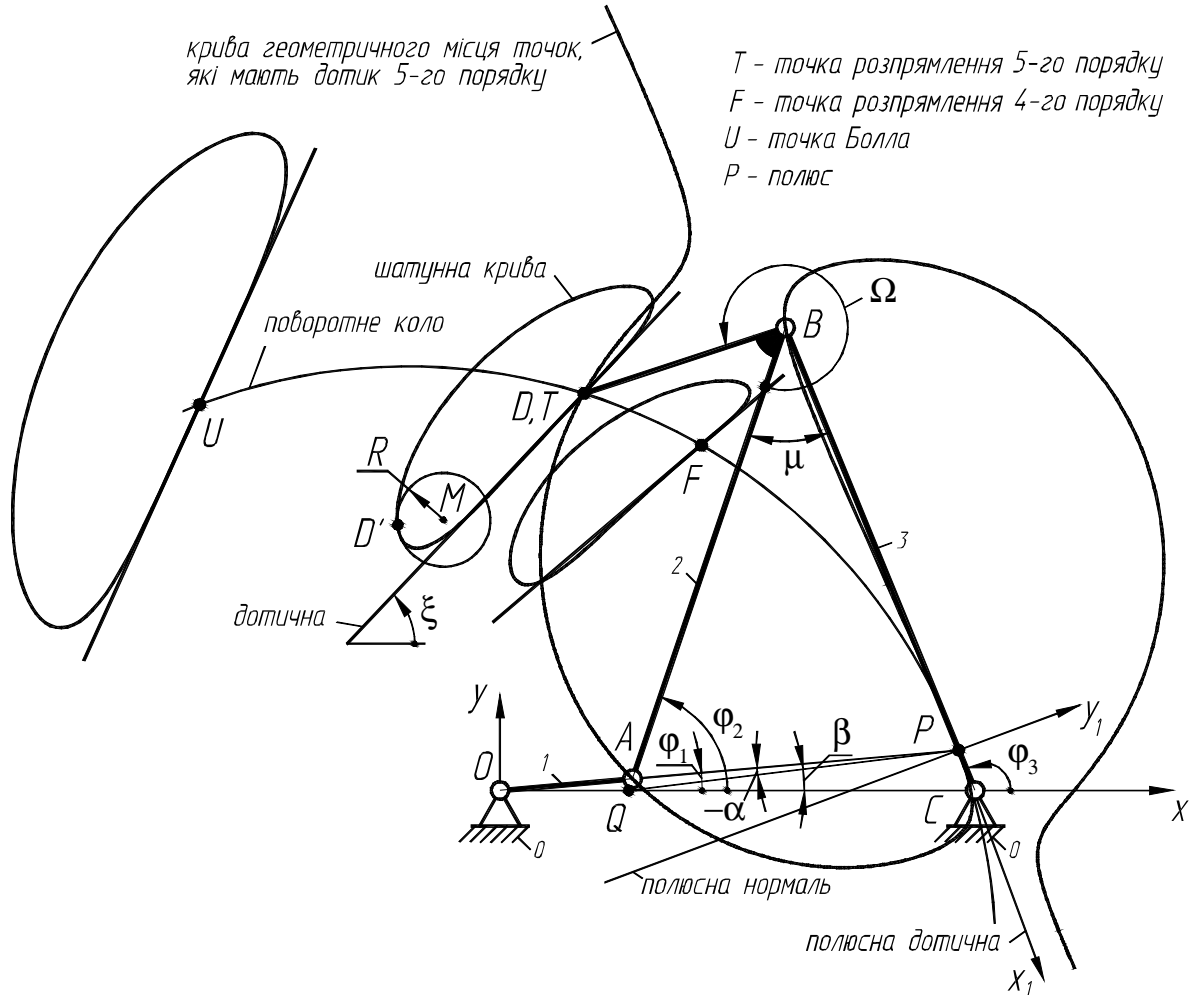


Рис. 1. Прямолінійно-напрямний шарнірний чотириланковий механізм

Задача формулюється наступним чином: необхідно визначити параметри кінематичної схеми несиметричного шарнірного чотириланкового механізму (рис. 1) таким чином, щоби шатунна точка D описувала пряму лінію (з певною точністю) на деякій ділянці шатунної кривої. В даній роботі розглянемо новий метод синтезу таких механізмів з використанням теоретичних основ кінематичної геометрії.

Як відомо, при дослідженні механізмів рух точки у нерухомій системі координат xOy зручно представляти у параметричній формі:

$$x = x(\varphi_1); y = y(\varphi_1), \tag{1}$$

де φ_1 – параметр (узагальнена координата), що в даному випадку є кутом повороту кривошипа, який змінюється в межах від 0 до 2π . Кінематичне дослідження механізму проводимо відповідно до [5]. Оскільки нас цікавить форма шатунної кривої, яку описує точка D механізму, необхідно записати аналітичні залежності для визначення координат цієї точки. Для цього спочатку визначимо координати точки A кривошипа:

$$x_A = r \cos \varphi_1; y_A = r \sin \varphi_1; \tag{2}$$

Величина кутів φ_2 та φ_3 , що визначають положення шатуна та коромисла механізму:

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

де $\kappa = \pi - \delta - \mu$;

$$\psi = \arctg(1 - x_A/y_A). \tag{3}$$

Для розрахунку шуканих кутів за формулами (3), додатково визначаємо наступні величини:

$$\Delta = \sqrt{(1 - x_A^2) + y_A^2}; \mu = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - \Delta^2}{2bc}\right); \delta = \arccos\left(\frac{b^2 + \Delta^2 - c^2}{2b \cdot \Delta}\right); \tag{4}$$

Координати точки B механізму визначаємо наступним чином:

$$x_B = x_A + b \cos \varphi_2; y_B = y_A + b \sin \varphi_2. \tag{5}$$

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

$$x_D = x_B + k \cos(\varphi_2 + \Omega - \pi); y_D = y_B + k \sin(\varphi_2 + \Omega - \pi). \tag{6}$$

Для проведення синтезу, запишемо рівняння кривої, виведене автором у [10], що представляє собою геометричне місце точок, які забезпечують дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами:

$$\begin{aligned} &\omega^3(x^2 + y^2) \left[x_0^V x + y_0^V y - 5(\omega^2 x_0^V + 2\omega x_0^V - 2\omega^3)(x^2 + y^2) \right] + \\ &+ \left[5\omega \left[(\omega^2 - 6\omega^2)(x^2 + y^2) + (y_0^{IV} x - x_0^{IV} y) \right] + 10 \left[n_3(x^2 + y^2) + n_1 x - n_2 y + n_4 \right] \right] \times \\ &\times \left[\omega^3(x^2 + y^2) - \omega(x_0'' x + y_0'' y) \right] = 0, \end{aligned} \tag{7}$$

де коефіцієнти n_1, n_2, n_3 та n_4 , що входять у (7) визначаються наступним чином [10]:

$$\begin{aligned} n_1 &= (\omega^2 - \omega^3) y_0'' - 3\omega x_0'' + \omega y_0''' - \omega^2 x_0''; n_3 = 3\omega^3 (\omega^2 - \omega^3); \\ n_2 &= (\omega^2 - \omega^3) x_0'' + 3\omega y_0'' + \omega x_0''' + \omega^2 y_0''; n_4 = x_0'' x_0''' + y_0'' y_0'''. \end{aligned} \tag{8}$$

Запишемо також рівняння поворотного кола у неявному вигляді, що представляє собою геометричне місце точок перегинів (або розпрямлення) своїх рулет [1]:

$$\omega^2(x^2 + y^2) - (x_0'' x + y_0'' y) = 0; \tag{9}$$

Як показали проведені дослідження (спочатку чисельні, потім аналітичні), крива (7), що є геометричним місцем точок з дотиком 5-го порядку має дві спільні точки з поворотним колом (9), причому одна з цих точок – полюс P миттєвого обертання шатунної площини механізму. Друга точка перетину цих кривих, що в загальному випадку не збігається з жодною іншою відомою особливою точкою шатунної площини, була названа автором *точкою розпрямлення 5-го порядку*. Координати цієї точки можна визначити, розв'язавши сумісно рівняння (7) та (9). Таким чином, упускаючи проміжні перетворення, запишемо вирази для визначення положення точки розпрямлення 5-го порядку у системі координат $x_1 P y_1$, що пов'язана з полюсом P миттєвого обертання шатунної площини:

$$x_T = \frac{\omega^2 \left(x_0'' (y_0^V)^2 - x_0^V y_0^V y_0'' \right) + n_5 \left(x_0^V y_0''^2 - x_0'' y_0^V y_0^V \right)}{\omega^4 \left[(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2 \right] + n_5^2 (x_0''^2 + y_0''^2) + 2\omega^2 n_5 (x_0'' x_0^V - y_0'' y_0^V)}, \tag{10}$$

$$y_T = \frac{\omega^2 \left(y_0'' (x_0^V)^2 - x_0^V y_0^V x_0'' \right) + n_5 \left(y_0^V x_0''^2 - x_0'' y_0^V x_0^V \right)}{\omega^4 \left[(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2 \right] + n_5^2 (x_0''^2 + y_0''^2) + 2\omega^2 n_5 (x_0'' x_0^V - y_0'' y_0^V)}, \tag{11}$$

де $n_5 = 5\omega^2 - 2(\omega^2 - \omega^3)$.

Таким чином, точка розпрямлення 5-го порядку характеризується такими ж властивостями як точка Болла [1,8] та точка розпрямлення 4-го порядку [8] – існує в кожному положенні шатунної площини механізму, причому для кожного положення можна знайти тільки одну таку точку. Використання цієї точки в якості шатунної дозволяє отримати шатунну криву з наближено прямолінійною ділянкою деякої тривалості в її околі (що є предметом для подальших досліджень). Оскільки ця точка належить поворотному колу (9), вона характеризується перегиним (розпрямленням) траєкторії шатунної кривої в цій точці та збігом трьох нескінченно близьких положень шатунної площини. Крім цього, приналежність точки розпрямлення 5-го порядку до кривої (7), забезпечує даній точці особливі властивості стосовно можливостей проектування на її основі прямолінійно-напрямних механізмів, що буде детально розглянуто в подальших дослідженнях.

Для проведення синтезу прямолінійно-напрямних механізмів на базі точок розпрямлення 5-го порядку, доцільно провести деякі спрощення базових формул. Відповідно до рекомендацій [1], система

координат $x_1 P y_1$ вибрана таким чином, що прискорення полюса миттєвого обертання шатунної площини буде змінюватись лише по осі y , тому $x_0'' = 0$, оскільки прискорення точки, що збігається з полюсом P , направлено по нормалі до полюсної дотичної, тобто по осі y_1 . Крім того, в подальших дослідженнях доцільно приймати кутову швидкість ω шатунної площини сталою та рівною одиниці ($\omega = 1$) [1].

Враховуючи вищезазначене, рівняння (7) можна записати наступним чином [10]:

$$(x^2 + y^2)(x_0^V x + y_0^V y) + 5 \left[(y_0^{IV} - 2x_0'' - 2y_0'')x - (x_0^{IV} + 2y_0'')y + 2y_0'' y_0'' \right] (x^2 + y^2 - y_0'' y) = 0. \quad (12)$$

Аналогічно можна спростити рівняння поворотного кола (9) [1]:

$$x^2 + y^2 - y_0'' y = 0; \quad (13)$$

В даному випадку, коли виконуються умови $x_0'' = 0$; $\omega = 1$, похідні від кутової швидкості ω шатунної площини за часом $\dot{\omega} = \ddot{\omega} = \ddot{\omega} = \ddot{\omega} = 0$, тоді вирази (10) та (11) для визначення положення точки T розпрямлення 5-го порядку можна також спростити:

$$x_T = \frac{-y_0'' x_0^V y_0^V}{(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2}; \quad y_T = \frac{y_0'' (x_0^V)^2}{(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2} \quad (14)$$

Аналітичні вирази для визначення похідних від переміщення полюса P миттєвого обертання шатунної площини до четвертого порядку включно $(y_0'', x_0''', y_0''', x_0^{IV}, y_0^{IV})$, що входять у рівняння (7)-(14)

відомі і розглядались, зокрема, у роботі [1]. Як видно з наведених рівнянь, для розв'язання поставлених задач необхідно визначити також похідні 5-го порядку. Визначимо ці величини за умови, що крива (7), яка визначає геометричне місце точок, що мають дотик 5-го порядку зі своїм колом кривизни, має проходити через рухомі шарніри механізму A та B , оскільки в даних точках шатунної площини спостерігається дотик не тільки 5-го, а якого завгодно більш високого порядку, з огляду на те, що ці точки рухаються по колу (траєкторією точки A кривошипа є коло, точки B коромисла – дуга кола).

Для визначення шуканих величин можна скористатись наступним методом – підставимо в рівняння (12) почергово координати точок A та B , визначені за формулами (2)-(5) та перетворені з базової системи координат xOy у систему координат $x_1 P y_1$, в результаті чого отримуємо лінійну систему двох рівнянь з двома невідомими, що має однозначний аналітичний розв'язок:

$$\left. \begin{aligned} (x_A^2 + y_A^2)(x_0^V x_A + y_0^V y_A) + 5 \left[(y_0^{IV} - 2x_0'' - 2y_0'')x_A - (x_0^{IV} + 2y_0'')y_A + 2y_0'' y_0'' \right] (x_A^2 + y_A^2 - y_0'' y_A) \\ (x_B^2 + y_B^2)(x_0^V x_B + y_0^V y_B) + 5 \left[(y_0^{IV} - 2x_0'' - 2y_0'')x_B - (x_0^{IV} + 2y_0'')y_B + 2y_0'' y_0'' \right] (x_B^2 + y_B^2 - y_0'' y_B) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Розв'язавши систему рівнянь (15), та провівши деякі спрощення, отримуємо:

$$x_0^V (\varphi_1) = \frac{5y_B (x_B^2 + y_B^2) (x_A^2 + y_A^2 - y_0'') \left[2y_0'' y_0'' + (y_0^{IV} - 2x_0'' - 2y_0'')x_A - (x_0^{IV} + 2y_0'')y_A \right]}{y_A (x_A^2 + y_A^2) (x_B^2 + y_B^2) (x_B - x_A y_B / y_A)} - \frac{5(x_B^2 + y_B^2 - y_0'' y_B) \left[2y_0'' y_0'' + (y_0^{IV} - 2x_0'' - 2y_0'')x_B - (x_0^{IV} + 2y_0'')y_B \right]}{(x_B - x_A y_B / y_A) (x_B^2 + y_B^2)}; \quad (16)$$

$$y_0^V (\varphi_1) = \frac{5(y_0'' y_A - x_A^2 - y_A^2)}{(x_A^2 + y_A^2) y_B} \left[2y_0'' y_0'' + (y_0^{IV} - 2x_0'' - 2y_0'')x_A - (x_0^{IV} + 2y_0'')y_A \right] - x_B x_0^{IV} / y_B. \quad (17)$$

Використовуючи формули (2)-(17), можна визначити положення точок розпрямлення 5-го порядку в шатунній площині шарнірного чотириланкового механізму. Як було зазначено, ці точки можна визначити в будь-якому положенні шатунної площини механізму. Геометричним місцем таких точок, визначених для різних положень механізму буде крива точок розпрямлення 5-го порядку (рис. 2), яка за своєю геометричною суттю є подібною до кривої Болла [8], але не збігається з нею, оскільки точки розпрямлення 5-го порядку визначають нове сімейство важільних прямолінійно-напрямних механізмів.

Кожна точка розпрямлення 5-го порядку, визначена для різних положень шатунної площини, що визначається кутом повороту кривошипа φ_1 , визначає шарнірний чотириланковий механізм, шатунна крива якого має прямолінійну ділянку деякої тривалості. Приклади відповідних шатунних кривих показані на рисунку 3.

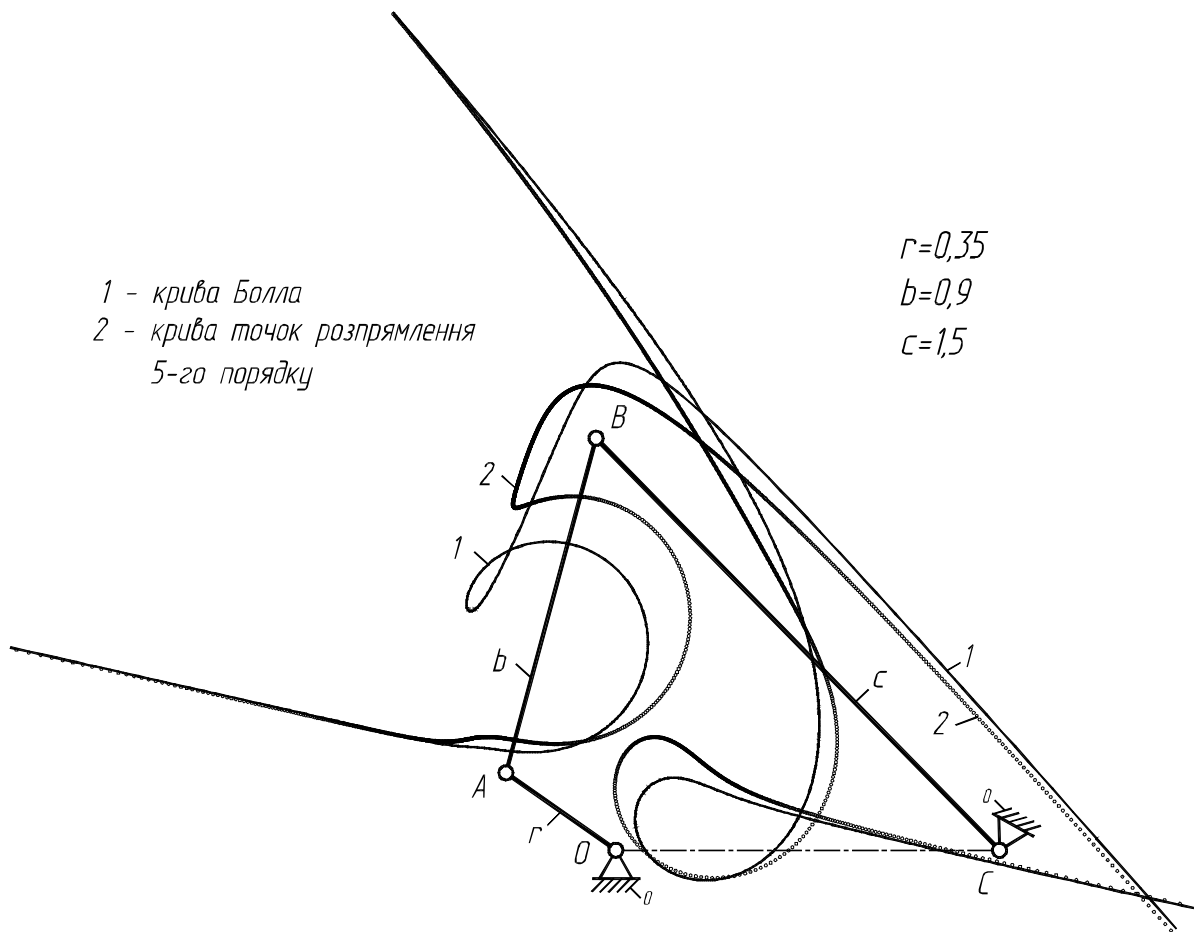


Рис. 2. Крива точок розпрямлення 5-го порядку та крива Болла шарнірного чотириланкового механізму

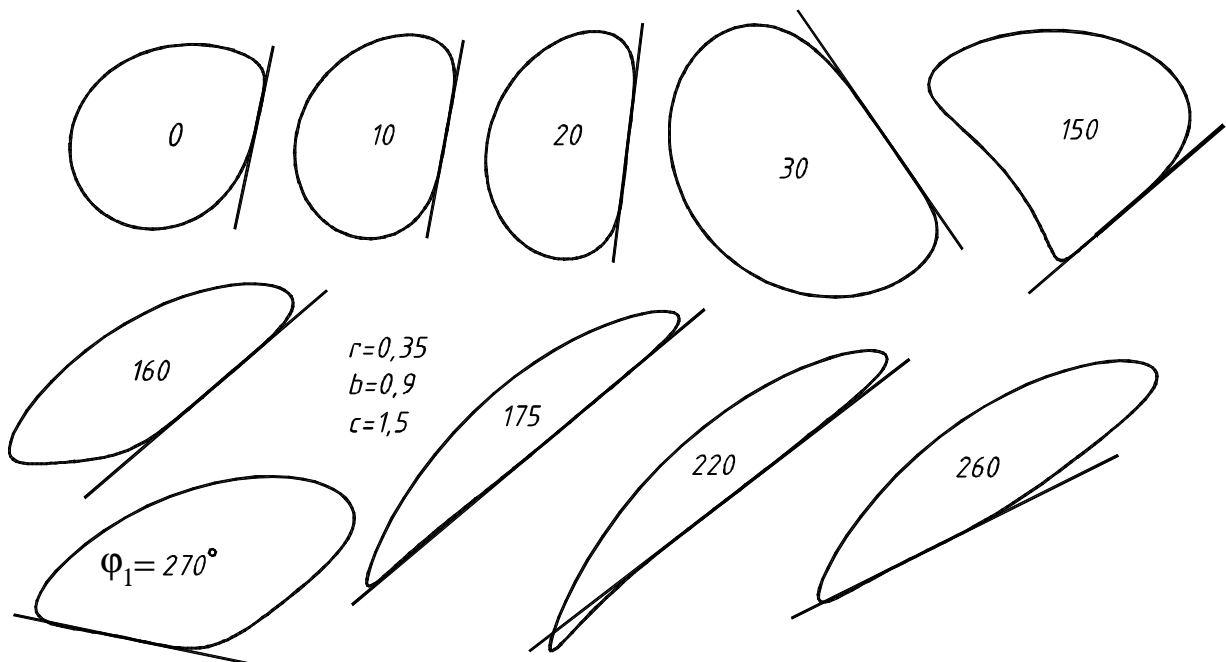


Рис. 3. Приклади шатунних кривих точок розпрямлення 5-го порядку синтезованих механізмів

Таким чином, в роботі показано, що в шатунній площині чотириланкових механізмів існує новий вид особливих точок, які нарівні з точками Болла, Чебишева та точками розпрямлення 4-го порядку можуть бути використані для проведення синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів, а на їх основі – механізмів із зупинкою вихідної ланки. Зазначені точки були названі точками розпрямлення 5-го порядку, для проектування механізмів на їх основі автором було розроблено відповідний метод синтезу. В подальших роботах планується провести дослідження таких механізмів з метою проведення оптимізаційного багатокритеріального синтезу.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов /И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский., С. А. Черкудинов – М.: Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. Бейер Р. Кинематический синтез механизмов. Основы теории метрического синтеза механизмов / Р. Бейер. – М.: Машгиз, 1959. – 318 с.
3. Геронимус Я. Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов /Я. Л. Геронимус.– М.: Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. – 400 с.
4. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с вистоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
5. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad: навч. посібник / Я.Т. Кіницький, В.О. Харжевський, М.В. Марченко. – Хмельницький: ХНУ, 2014. – 295 с.
6. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов / В. Лихтенхельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.
7. Марченко М.В. Кінематичний синтез кривошипно-кулісних механізмів з вистоем вихідної ланки: дис... канд. техн. наук: 05.02.02 / М.В.Марченко; Хмельницький національний ун-т. – Хмельницький, 2009. – 226 с.
8. Харжевський В.О. Синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів та механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму: дис...канд. техн. наук: 05.02.02 / В.О. Харжевський; Хмельницький держ. ун-т. - Хмельницький, 2004. – 262 с.
9. Харжевський В.О. Методика визначення особливих точок Чебишева для синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3 (225). – С. 34–41.
10. Харжевський В.О. Розробка та вдосконалення методів кінематичної геометрії для синтезу важільних напрямних механізмів / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 4 (227). – С. 10–16.
11. Gassmann V. Synthese von Geradfürungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.
12. Sarkissyan Y.L. Approximations in Synthesis of Mechanisms /State Engineering University of Armenia Proceedings, series “Mechanics, Machine Science, Machine-building”, Issue 15, #2, 2012, pp. 9-21.
13. 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.
14. Yin L. "A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points" /L. Yin, J. Han, J. Huang, T. Yang //Applied Mechanics and Materials, Vols 215-216, 2012, pp. 138-141.
15. 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 : 2.7.2015 р. Надрукована/Printed :1.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кіницький Я.Т.

КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ СОНЯЧНЕ ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО

Розглянутий процес керування змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою, коли ведучою ланкою є епіцикл, а веденою – водило, або навпаки. Керуючою ланкою є сонячне зубчасте колесо зв'язане з замкнутою гідросистемою, яка складається з гідронасоса, трубопроводів і регулювального дроселя. Коли регульовальний дросель відкритий, маємо те, що сонячне зубчасте колесо через зубчасту передачу приводить у рух гідронасос, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі. Якщо регульовальний дросель закритий, тоді замкнута гідросистема замкнута, тобто гідронасос зупинений і, при цьому, сонячне зубчасте колесо зупинене. Таким чином, в залежності від пропускної здатності регулювального дроселя, швидкість сонячного зубчастого колеса змінюється і, при цьому, змінюється швидкість веденої ланки. За допомогою комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності між швидкостями ведучої, керуючої та веденої ланок.

Ключові слова: керування швидкістю, диференціальна передача, сонячне зубчасте колесо, епіцикл, водило, замкнута гідросистема.

O.R. STRILETS

National University of Water Management And Nature Resources Use, Rivne

MANAGEMENT OF THE SPEED CHANGE VIA DIFFERENTIAL GEAR THROUGH SOLAR GEAR

Abstract – The article considers processes of speed change management via differential transmission with a closed hydrosystem when the driving element is an epicycle and the driven – is carrier or vice versa.

The aim of the research is to describe the structure and principle of speed change by differential transmission with a closed hydrosystem, to investigate the kinematics of the process.

The control element here is solar gear connected to closed hydrosystem. When the driving element is the epicycle, driven – is carrier and the management of carrier's speed is performed by changing the speed of solar gear, we have that solar gear drives the hydraulic pump that pumps fluid in a closed hydrosystem consisting of pipes and regulating throttle – when regulating throttle is opened. When regulating throttle is closed, then hydrosystem is immovable, hydraulic pump is stopped and so is solar gear.

Thus, depending on the bandwidth of regulating throttle, speed of solar gear changes, while changing the speed of the carrier. We received graphic dependences between velocities between driving and driven elements by means of computer programing.

Key words: speed management, differential gear, sun gear, epicycle, carrier, closed hydrosystem.

Постановка проблеми

При виконанні робіт у різних галузях промисловості і забезпечення різних технологічних процесів виникає необхідність керування процесами зміни швидкості у техніці за величиною та напрямком її виконавчих механізмів. У вітчизняній і зарубіжній техніці широко відомі способи і пристрої сходового та безсходового керування швидкістю за величиною та напрямком у вигляді сходових та безсходових коробок передач. Відомі способи керування змінами швидкості мають багато недоліків. Основними недоліками сходового керування швидкістю є складність конструкції пристроїв, їх велика матеріаломісткість, великі динамічні навантаження, які виникають при переході з однієї швидкості на іншу, навіть з використанням синхронізаторів. Основним недоліком безсходового керування швидкістю можна назвати велике спрацювання деталей через використання фрикційних зв'язків, як правило, фрикційних гальм та блокувальних фрикційних муфт. Внаслідок цього зменшується довговічність і надійність деталей приводів і машин в цілому. Тому виникають задачі створення нових способів і пристроїв керування змінами швидкості, які усувають згадані недоліки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом виконані огляди і проведений широкий аналіз способів і пристроїв для керування процесом зміни швидкості [1-5], запропонована їх класифікація [6], обґрунтована можливість керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач [8], розроблені нові пристрої на рівні патентів [8-13] для безсходового керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач з замкнутою гідросистемою. Однак теоретичні та експериментальні дослідження для нового способу і пристроїв не проведені.

Мета роботи

Метою роботи є теоретично-комп'ютерне дослідження залежності зміни швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою між ведучою ланкою (епіцикл) і веденою (водило), або навпаки, коли керування виконується через сонячне зубчасте колесо.

Реалізація роботи

Одна із схем диференціального механізму з пристроєм для керування змінами швидкості, показана на рисунку 1, складається з сонячного зубчастого колеса 1, сателітів 2, опорного зубчастого колеса – епіцикла 3 і водила 4 розміщених у корпусі 5. На корпусі 5 розміщена замкнута гідросистема 6 і зв'язана з водилом 4 зубчастою передачею 7. Замкнута гідросистема 6 складається з гідронасоса 8, трубопроводів 9, регулювального дроселя 10, зворотного клапана 11 і ємності для рідини 12.

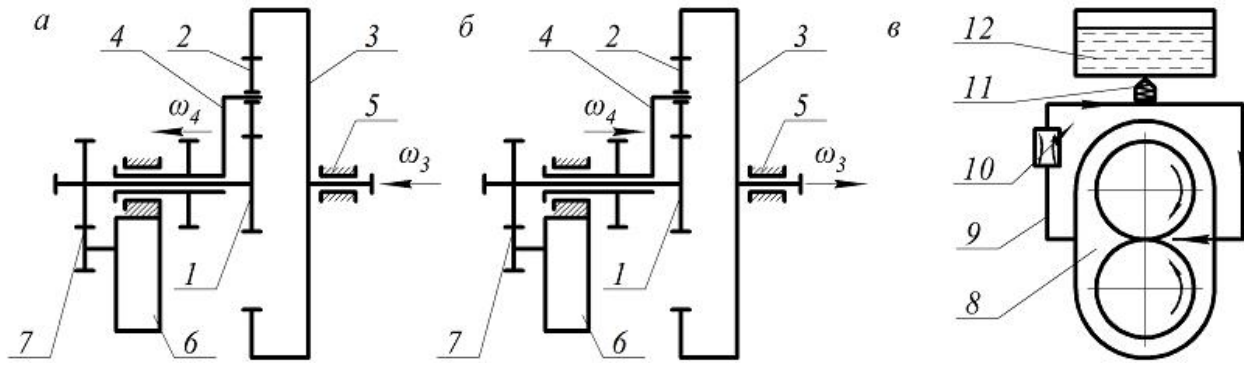


Рис. 1. Схеми: а, б – зубчастої диференціальної передачі з керуванням через сонячне зубчасте колесо та ведучою ланкою, відповідно, епіциклом та водилом; в – замкнутої гідросистеми

Розглянемо випадок коли ведучою ланкою буде зубчасте колесо – епіцикл 3, а веденою – водило 4. Керування зміною веденої ланки – водила 4 здійснюється через сонячне зубчасте колесо 1. Якщо прийняти кутову швидкість ведучої ланки (епіцикла 3) $\omega_3 = const$, тоді за рахунок зміни швидкості сонячного зубчастого колеса 1 ($\omega_1 = var$) за допомогою замкнутої гідросистеми б можна плавно змінювати швидкість веденої ланки – водила 4 (ω_4). Тобто, маємо те, що сонячне зубчасте колесо 1 через зубчасту передачу 7 приводить у рух гідронасос 8, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі б складеній з трубопроводів 9 і регульовального дроселя 10 – коли регульовальний дросель 10 відкритий. Якщо регульовальний дросель 10 закритий, тоді замкнута гідросистема б закрита, тобто шестеренчастий гідронасос 8 зупинений і, при цьому, зупинено сонячне зубчасте колесо 1 ($\omega_1 = 0$). Таким чином, в залежності від пропускної здатності регульовального дроселя 10, швидкість сонячного зубчастого колеса 1 ω_1 змінюється від 0 до ω_{1max} і, при цьому, змінюється швидкість водила 4 (ω_4). Зв'язок між швидкостями в такій передачі описується відомим аналітичним виразом [14]

$$w_4 = \frac{w_1 - u_{13}^{(4)} w_3}{1 - u_{13}^{(4)}}, \quad (1)$$

де $u_{13}^{(4)}$ – передаточне число механізму від сонячного зубчастого колеса 1 до епіцикла 3 при зупиненому водилі 4 (для схем на рис. 1 $u_{13}^{(4)} = -(z_3 / z_1)$), де z_1 – число зубців сонячного зубчастого колеса; z_3 – число зубців епіцикла. Знак (–) тому, що у визначенні передаточного числа є одне зовнішнє (колеса 1-2) зачеплення. З врахуванням, що передаточне число величина від'ємна, вираз (1) має остаточний вигляд

$$w_4 = \frac{w_1 + u_{13}^{(4)} w_3}{1 + u_{13}^{(4)}}. \quad (2)$$

Для того щоб більш наочно показати характер зміни швидкості через диференціальну передачу з пристроєм у вигляді замкнутої гідросистеми, формула (2) запрограмована та отримані графічні залежності $w_4 = f(w_1, w_3, u_{13}^{(4)})$, при передаточних числах $u_{13}^{(4)} = 1 \dots 10$, та кутовій швидкості ведучої ланки $\omega_3 = 100 \text{ рад/с}$. Отримані графічні залежності показані на рисунку 2 а.

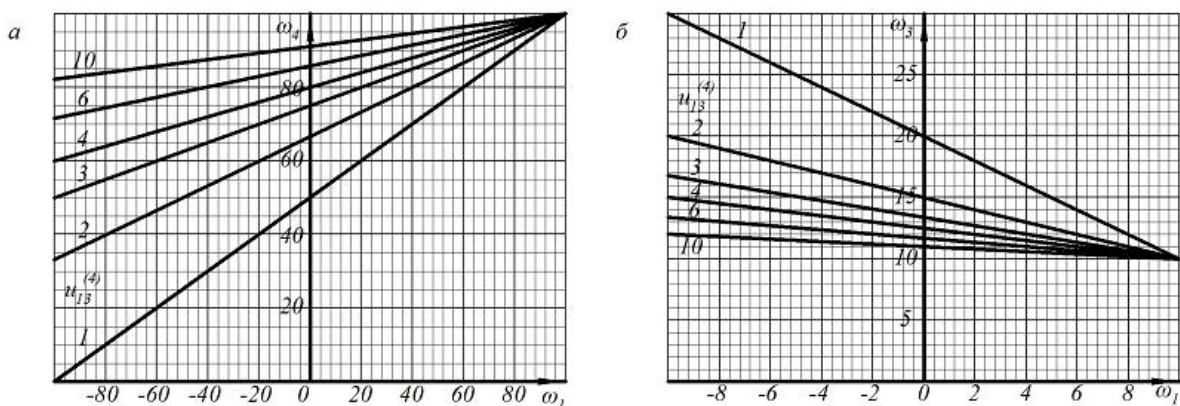


Рис. 2. Залежності між швидкостями керуючої та веденої ланок:

а – при $\omega_3 = 100 \text{ рад/с}$ для схеми на рис. 1 а; б – при $\omega_4 = 10 \text{ рад/с}$ для схеми на рис. 1 б

Якщо прийняти водило 4 за ведучу ланку з куговою швидкістю $\omega_4 = const$, тоді за рахунок зміни швидкості сонячного зубчастого колеса 1, $\omega_1 = var$ за допомогою замкнутої гідросистеми б можна плавно змінювати швидкість веденої ланки, зубчастого колеса – епіцикла 3. Принцип роботи такого механізму аналогічний описаному вище. Тобто, в залежності від пропускної здатності регульовального дроселя 10, швидкість сонячного зубчастого колеса 1 ω_1 змінюватиметься від 0 до ω_{1max} і, при цьому, буде мінятися

швидкість зубчастого колеса - епіцикла 3 (ω_3).

Аналітична залежність між швидкостями для цього випадку отримується із (2) і має вид:

$$w_3 = \frac{w_4(1 + u_{13}^{(4)}) - w_1}{u_{13}^{(4)}} \quad (3)$$

Із (3) засобами комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності $w_3 = f(w_1, w_4, u_{13}^{(4)})$, при різних передаточних відношеннях $u_{13}^{(4)} = 1 \dots 10$, та кутовій швидкості ведучої ланки $\omega_4 = 10 \text{ рад/с}$. Отримані графічні залежності показані на рисунку 2 б.

Розглянемо приклади з не рядними диференціальними передачами. На рисунку 3 показані не рядні диференціальні передачі в яких сателіт 2 виконаний із двох паралельних зубчастих коліс з числом зубів z_2 і z_2' . При цьому сонячне зубчасте колесо 1 (z_1) з сателітом 2 (z_2) утворює зовнішнє зачеплення, а сателіт 2 (z_2') з епіциклом 3 (z_3) – внутрішнє. Тоді передаточне відношення $u_{13}^{(4)} = -\frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'}$. Для аналізу зміни швидкості

таких механізмів можна використати аналітичні вирази (2) і (3) та графічні залежності показані на рисунках 2 а і б.

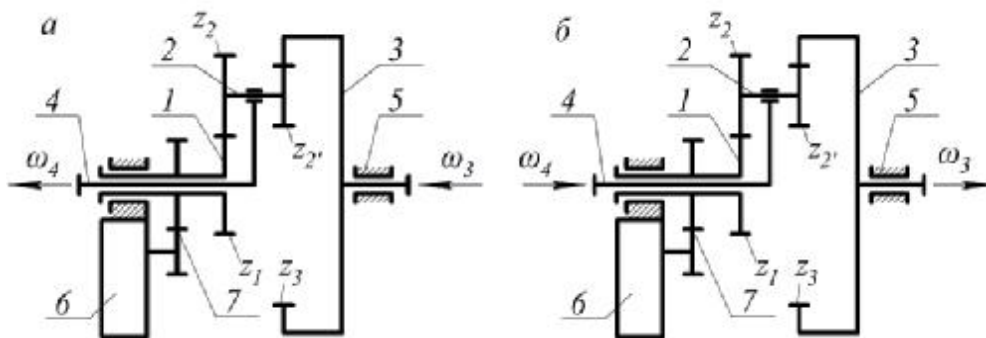


Рис. 3. Схеми не рядних зубчастих диференціальних передач з замкнутими гідросистемами: а – ведуче зубчасте колесо - епіцикл; б – ведуче водило

На рисунку 4 показані не рядні диференціальні передачі в яких сателіт 2 виконаний із двох паралельних зубчастих коліс з числом зубів z_2 і z_2' . При цьому сонячне зубчасте колесо 1 (z_1) з сателітом 2 (z_2) і сателіт 2 (z_2') з епіциклом 3 (z_3) – утворюють зовнішні зачеплення. Тоді передаточне відношення

$$u_{13}^{(4)} = \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'}$$

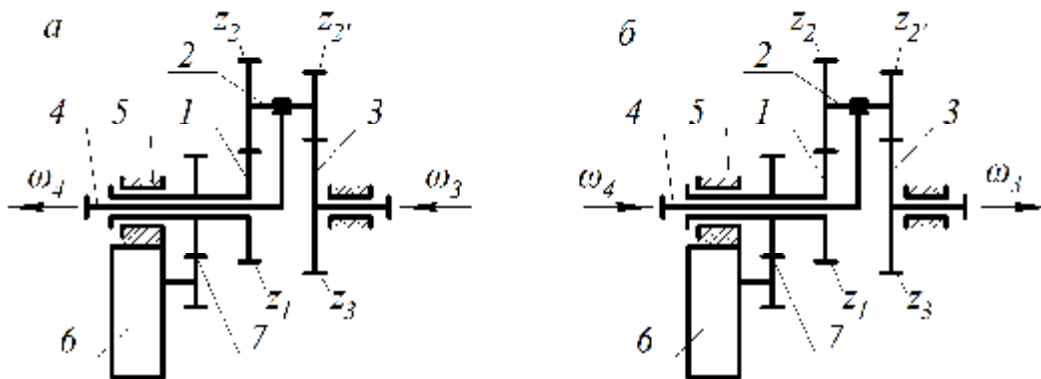


Рис. 4. Схеми не рядних зубчастих диференціальних передач з замкнутими гідросистемами: а – ведуче сонячне зубчасте колесо; б – ведуче водило

Для аналізу зміни швидкості не рядного диференціального механізму, показаного на рисунку 4 а, необхідно використати аналітичний вираз (1), так як тепер передаточне число додатне. Запрограмувавши (1) отримаємо графічні залежності $w_4 = f(w_3, w_1, u_{13}^{(4)})$, для умов описаних вище. Такі графічні залежності показані на рисунку 5 а.

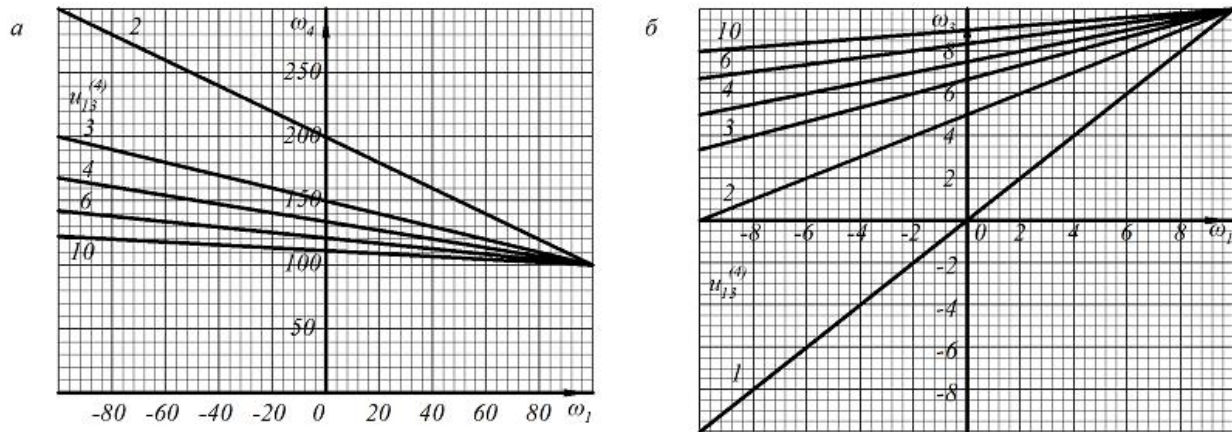


Рис. 5 - Залежності між швидкостями керуючої та веденої ланок:

a – при $\omega_3 = 100 \text{ рад/с}$ для схеми на рис. 4 *a*; *б* – при $\omega_4 = 10 \text{ рад/с}$ для схеми на рис. 4 *б*

Для аналізу зміни швидкості не рядного диференціального механізму, показаного на рисунку 4 *б*, необхідно використати аналітичний вираз (1) і вирішити його відносно (ω_3).

$$w_3 = \frac{w_1 - w_4(1 - u_{13}^{(4)})}{u_{13}^{(4)}} \quad (4)$$

Графічні залежності програмно отримані із (4), для умов описаних вище, показані на рисунку 5 *б*.

Вирази (1) і (4) та графічні залежності показані на рисунку 5 справедливі також для не рядних диференціальних передач, в яких сателіти виконані із двох паралельних зубчастих коліс, що утворюють з сонячним зубчастим колесом та епіциклом внутрішнє зачеплення.

Висновки

1. Отримані графічні залежності швидкості між ведучою і веденою ланками (епіциклом і водилом або навпаки) у диференціальних передачах з замкнутою гідросистемою за допомогою засобів комп'ютерного моделювання, подані на рисунках 2 і 5, наочно підтверджують можливість керування змінами швидкості між ведучою і веденою ланками при зміні швидкості сонячного зубчастого колеса.

2. Запропонована методика теоретично-комп'ютерного дослідження залежності між швидкостями в диференціальній передачі з замкнутою гідросистемою між ведучою (епіциклом) і веденою (водилом) ланками або навпаки, коли керування виконується через сонячне зубчасте колесо може бути застосована для різноманітних схем диференціальних передач.

3. Отримані графічні залежності швидкості між ланками в диференціальній передачі можна використовувати при проектуванні нових пристроїв для керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач з замкнутою гідросистемою, та може бути підґрунтям для подальших досліджень механічних засобів машинознавства.

Література

1. Стрілець О. Комп'ютерне моделювання диференціальних передач з пристроєм для керування швидкістю / О.Стрілець // «Машинознавство». Всеукраїнський наук.-техн. і виробн. журнал. – 2009. – № 12 (150). – С. 39 – 43.

2. Стрілець О.Р. Способи керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // Збірник тез. VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані інтелектуальні роботи технічні комплекси ІРТК-2015» – Київ : 18-19 травня 2015 року. – С. 220 – 221.

3. Стрілець О.Р. Огляд і аналіз способів керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // 12-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові: тези. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2015. 28-29 травня 2015 року. – С. 152 – 153.

4. Малащенко В.О. Огляд та аналіз способів і пристроїв сходиноквого керування змінами швидкості у техніці / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник національного університету водного господарства та природокористування (Рівне : НУВГП). – 2015. – №70. – С. 243 – 252.

5. Стрілець О.Р. Огляд та аналіз способів і пристроїв безсходиноквого і комбінованого керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне ,НУВГП). – 2015. – №70. – С. 351 – 360.

6. Малащенко В.О. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості у техніці/ В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка(Одеса). – 2015. – №1.

– С. 70 – 78.

7. Стрілець О.Р. Обґрунтування можливості керування змінами швидкості за допомогою

диференціальних передач / О.Р. Стрілець // Вісник Інженерної академії України (Київ, НАУ). – 2015. – №2. – С. 177 – 181.

8. Пат. 7328 Україна, МПК F16 H 48/20. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / В.М. Стрілець, І.П. Ріло, О.Р. Стрілець; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u №20041109781; заявл. 29.11.2004; опубл. 15.06.2005, Бюл. №6, 2005р.

9. Пат. 11121 Україна, МПК F16 H 1/28. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / В. М. Стрілець, І. П. Ріло, О. Р. Стрілець, В. П. Поліщук; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200504847; заявл. 23.05.2005; опубл. 15.12.2005, Бюл. №12, 2005р.

10. Пат. 18514 Україна, МПК F16 H 48/00. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / В.М. Стрілець, І.П. Ріло, І.Т. Шинкаренко, О.Р. Стрілець; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200604863; заявл. 03.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11, 2006р.

11. Пат. 18587 Україна, МПК F16 H 48/00. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець, І.Т. Шинкаренко; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200605205; заявл. 12.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11, 2006р.

12. Пат. 28489 Україна, МПК В 60 К 17/06. Планетарна коробка передач [Текст] / О.Р. Стрілець; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№2007 09132; заявл. 09.08.07; опубл. 10.12.07, Бюл. №20, 2007р.

13. Пат. 48608 Україна, МПК F16 H 48/00. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200910172; заявл. 07.10.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. №6., 2010р.

14. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин: Підруч. / Я.Т. Кіницький; НАН України. – К. : «Наук. Думка», 2002. – 660с.

Рецензія/Peer review : 22.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кравець С.В.

УДК 66-9: 66-011

С.А. РУСАНОВ, Ю.Г. РОЗОВ, Ю.М. БАРДАЧОВ, Д.О. ДМИТРИЄВ

Херсонський національний технічний університет

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ЕТАЛОННОГО СИПКОГО МАТЕРІАЛУ У ВІБРОКИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Розглянуті питання, пов'язані з оцінками точності прогнозування параметрів руху сипких матеріалів у віброкиплячому шарі. Наведено результати співставлення розрахункових даних, отриманих у програмному продукті «Віброслой 1.0» та експериментальних випробувань для еталонних матеріалів.

Ключові слова: сипкі матеріали, віброкипіння, моделювання

S.A. RUSANOV, YU.G. ROZOV, YU. N. BARDACHOV, D.O. DMYTRIEV
Kherson national technical university

EVALUATION OF ACCURACY OF MOTION PARAMETERS OF REFERENCE DRY MATERIAL AT VIBROFLUIDIZED PROCESS

The problems associated with the estimates of the parameters prediction accuracy of movement vibrofluidized bed of dry substances are considerate. The results of comparing the calculated data obtained at the software "Vibrosloy 1.x" and experimental tests of reference materials are discussed. The data of calculating the relative error at the software product in a range of parameters of vibration overload showed sufficient accuracy of calculations. Best results were obtained for the medium intensity vibration processes. However, for low and high intensity process is also observed sufficient accuracy. Thus, the program "Vibrosloy 1.x" allows with sufficient accuracy for technical needs calculate basic parameters of vibrofluidized bed of dry substances, such us flow rate, and pre-select equipment with adjustable parameters (frequency and amplitude of vibration, angle of vibration, etc.)

Keywords: dry materials, vibrofluidized, modeling

Вступ. Застосування вібрації в технологічних процесах на сьогодні є відомою практикою, оскільки вібраційні зовнішні впливи значно прискорюють швидкість протікання багатьох обмінних процесів, хімічних реакцій [1]. Контроль за транспортними операціями, просте регулювання параметрів руху – також є однією з переваг вібраційного спонукання. Це обумовлює крім того, широкі галузі застосування вібраційних технологій.

Рух поодиноких частинок, штучних продуктів – на сьогодні можна вважати вирішеною проблемою, – прогнозування параметрів руху для різноманітних режимів можна проводити за допомогою існуючих

аналітичних залежностей, табульованих даних та ін. [2]. Основні проблеми сконцентровані в галузі прогнозування руху частинок у шарі – такі задачі потребують врахування багатьох додаткових внутрішніх та зовнішніх зусиль, суттєвий вплив граничних та початкових умов, фільтруючого середовища тощо. Крім того, поведінка частинок в шарі буде суттєво залежна від параметрів вібрації – при низькій вібраційній інтенсивності шар знаходиться в стані віброзрідження, при подальшому збільшенні вібраційних впливів – шар переходить у стан віброкипіння [1,2]. Гідродинаміка шарів у вказаних станах різко відрізняється [3].

Існує багато математичних моделей поведінки шару сипкого матеріалу на віброуючих поверхнях [2]. Усі моделі є достатньо складними і не мають аналітичних рішень, тому проблема моделювання поведінки віброшарів сипких матеріалів лежить у галузі чисельних розрахунків за тими чи іншими математичними моделями.

Постановка завдання. В роботах [4, 5] була розвинута математична модель, у відповідності до якої віброшар сипкого матеріалу представлено як суцільне середовище з особливою реологією (обумовленою наявністю фільтруючого середовища, за більшості випадків – газу), в якому, за рахунок підведеної зовнішньої вібрації, поширюються нелінійні хвилі деформації. За допомогою цієї моделі було вирішено багато характерних задач віброкипіння, отримані результати, що відображають деякі особливості, що властиві тільки віброшарам [6]. На основі вказаної моделі було розроблено систему автоматизованого моделювання гідродинаміки віброшарів «Виброслой 1.0» (на сьогодні існує декілька оновлених версій програми) [7]. У вказаній програмі проводилися моделювання багатьох задач віброкипіння, в тому числі і зазначених вище. Вирішувалась задача взаємодії віброшару з несучими поверхнями [8], було показано, що віброкиплячий шар із позицій віброреології відноситься до псевдопластичних рідин [9].

В даній статті ми проведемо оцінку точності прогнозування параметрів руху еталонного матеріалу у віброкиплячому шарі в програмному середовищі «Виброслой» на прикладі моделювання руху еталонного матеріалу (дослідження проводяться в рамках щорічного Гранту Президента на 2015 рік для докторів наук).

Виклад основного матеріалу. Для співставлення результатів роботи системи «Виброслой 1.0» з відомими експериментальними даними була проведена серія комп'ютерних моделювань, результати яких наведені нижче.

Були проведені моделювання руху насипного продукту з коефіцієнтом транспортабельності $k_{тр} = 1$ (пісок товщиною шару $H = 50$ мм при горизонтальному розташуванні вібромашини та куті вібрації $\beta = 20^\circ$, що рухається на достатньо широкому лотку). Матеріал з такими параметрами вважається еталонним [10]. Для цього матеріалу у [2,10] наведені графіки залежності швидкості транспортування від параметрів режиму при прямолінійних гармонічних коливаннях отримані з експерименту. У програмі «Виброслой 1.0» були проведені аналогічні дослідження й отримані результати, що добре співпадають з відомими (порядок роботи та опис програми наведені в [11]). Результати наведені у таблиці 1 та на рисунку 1.

Як видно з результатів співставлення, дані, що отримані за допомогою розрахунку в середовищі створеної системи, добре співпадають з відомими експериментальними даними. Особливо важливо те, що вказаний збіг отриманий для еталонної задачі, при цьому результати одержані без врахування зусиль, що виникають внаслідок взаємодії частинок матеріалу в розпушеному стані. Задовільні для технічних потреб результати (рис.1) отримані для усього діапазону параметра перевантаження [1-3,10] (характеризує інтенсивність вібровпливів), та який для випадку, що розглядається, має вигляд $\Gamma = A\omega^2 \sin(\beta) / g$, де A – амплітуда вібрації, м, ω – кругова частота коливань, с^{-1} , β – кут вібрації, рад, g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$. Найліпша відповідність до натурних даних отримана в області віброкипіння середньої інтенсивності. Прогнозування в області віброзрідження та в області розвинутого віброкипіння дає більшу помилку, що пов'язано з обмеженнями, що закладені в реалізовану модель [4,5].

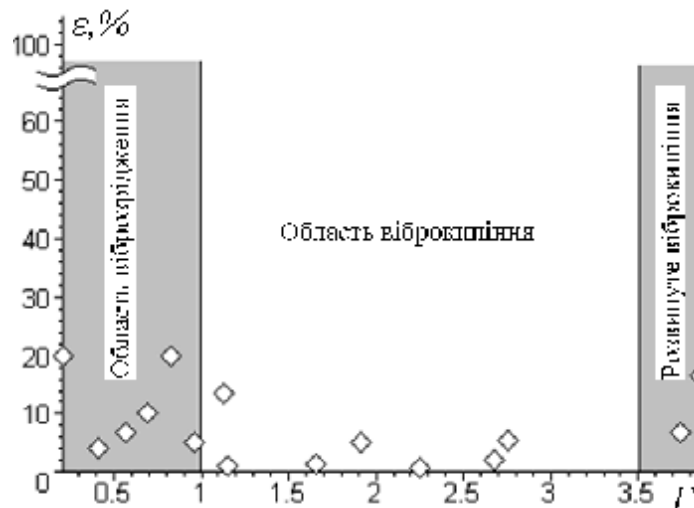


Рис. 1. Відносні похибки результатів моделювання руху еталонного матеріалу в програмі «Виброслой 1.0» в залежності від параметру перевантаження

Співставлення результатів моделювання руху еталонного матеріалу з відомими даними

Амплітуда, мм	Частота вібрації, хв ⁻¹	Швидкість шару матеріалу за моделюванням, м/с	Дослідна швидкість шару матеріалу, м/с	Відносна похибка, %
1,5	1400	0,121	0,14	13,5
1,5	1200	0,080	0,10	20,0
1,5	1000	0,056	0,06	6,6
1,5	600	0,012	0,01	20,0
3	1400	0,278	0,28	0,7
3	1200	0,223	0,22	1,3
3	1000	0,158	0,16	1,3
3	600	0,048	0,05	4,0
5	1400	0,556	0,52	6,9
5	1200	0,453	0,43	5,3
5	1000	0,313	0,33	5,2
5	600	0,108	0,12	10,0
7	1200	0,700	0,60	16,7
7	1000	0,490	0,48	2,1
7	600	0,200	0,19	5,3

Нижче наведені (рис. 2, 3) додаткові розраховані параметри, що отримані при рішенні вказаної задачі для $A = 3$ мм, $n = 1200$ кол/хв (що відповідає коефіцієнту перевантаження $\Gamma = (A\omega^2 \sin \beta)/g = 1,65$, та відповідає віброкиплячому стану матеріалу [1, 2]).

Як видно із результатів моделювання, при зазначеній висоті шару матеріал фактично рухається як одне ціле. Рух частинки уздовж вантажонесучої поверхні розпадається на дві стадії: стадія руху у відриві від несучої поверхні, стадія проковзування відносно несучої поверхні. Третьою можливою стадією (руху в контакт з поверхнею без проковзування) для даного прикладу не реалізується. Треба зазначити, що транспортування матеріалу з подібними вхідними параметрами зустрічається для багатьох вібраційних транспортуючих пристроїв, тому досить точне вирішення подібної задачі має значну актуальність [12].

Висновки. Таким чином, програма «Виброслой 1.0» дозволяє з достатньою для технічних потреб точністю розрахувати основні параметри віброкипіння, визначити об'ємну або масову витрату проектованого обладнання та наперед вибрати регульовані параметри обладнання (частоту та амплітуду вібрації, кут нахилу, кут вібрації тощо). Окрім того, треба зазначити, що достатній збіг з експериментом наявний і для області віброзрідження (нижня частина на рис.1), що дозволяє використовувати систему «Виброслой» для процесів у вказаному стані.

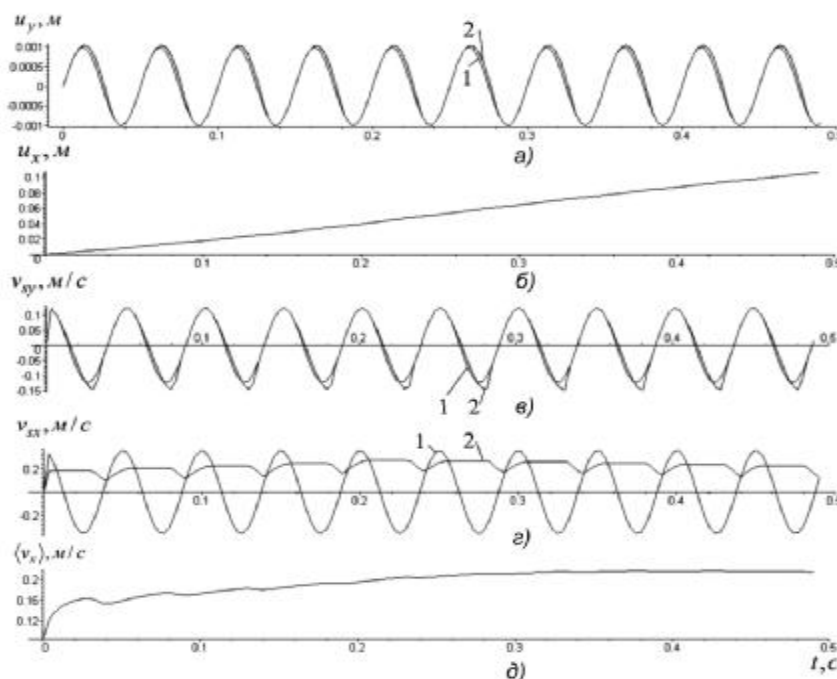


Рис. 2. Вертикальна (а) та горизонтальна (б) складові вектора переміщень, вертикальна (в) та горизонтальна (г) складові вектора швидкостей, та середня швидкість руху віброкиплячого шару (д) – розподіл у часі. 1 – рух вантажонесучої поверхні; 2 – всередині шару

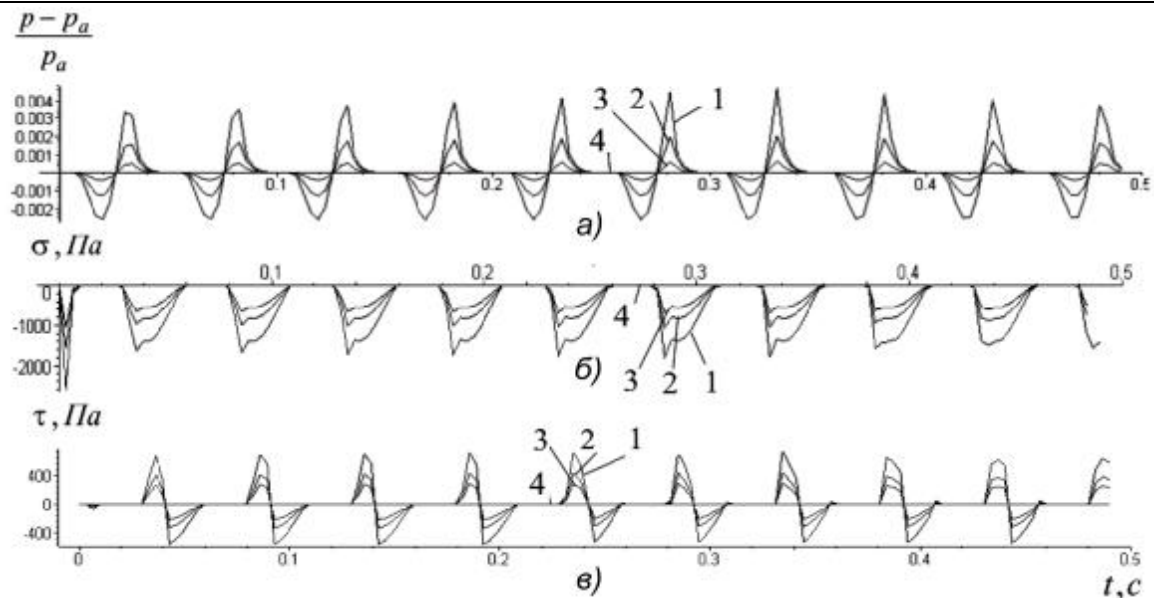


Рис. 3. Розподіл тисків (а), нормальних (б) та дотичних напруг (в) по висоті шару у часі.
1 – 0 мм; 2 – 16,7 мм; 3 – 33,3 мм; 4 – 50 мм

Література

1. Членов В.А. Виброкипящий слой / А.А. Членов, Н.В. Михайлов. – М.: Наука, 1972. – 344с.
2. Вибрации в технике. Справочник: в 6 т. Т. 4. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
3. Катыльмов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А.В. Катыльмов, В.А. Любартович. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
4. Русанов С. Математичне моделювання процесу віброкипіння сипких середовищ / С. Русанов, К. Луняка, В. Карманов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2006. – № 1 (17). – С. 32 – 40.
5. Русанов С.А.. Особливості процесу віброкипіння шару сипкого матеріалу на вертикально віброуючих поверхнях / С.А. Русанов., К.В.Луняка, Г.А. Чумаков // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2006. – №3(26). – С. 131 – 135.
6. Русанов С.А. Дослідження процесу фільтрування газу крізь шар сипкого матеріалу в процесі віброкипіння / С.А. Русанов, К.В. Луняка., Г.М. Глухов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 3. – С. 63 – 68.
7. Система автоматизованого моделювання гідродинаміки віброкиплячих шарів “Виброслой 1.0”. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №25051. / С.А.Русанов. – №24961: Заявл. 14.04.2008; Опубл. 24.07.2008.
8. Русанов С.А. Взаємодія віброкиплячого шару з несучими поверхнями / С.А. Русанов, К.В. Луняка, О.І. Ключев, Г.М. Глухов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. №5/5 (41).– С.9 –14.
9. Русанов С.А. Виброреологическая модель виброкипящего слоя сыпучей среды / С.А. Русанов, К.В. Луняка, Г.В. Никитенко // Инженерно-физический журнал. – 2012. Том 85, №6. – С. 1183 – 1188.
10. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологи / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 320 с.
11. Русанов С.А. Математичне моделювання робочого процесу в апаратах з віброкиплячим шаром та розробка систем автоматизованого моделювання гідродинаміки киплячих шарів / С.А. Русанов, К.В. Луняка, О.І. Ключев, Г.М. Глухов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 1 (23). – С. 15 – 24.
12. Варсанюфьев В.Д. Вибрационная техника в химической промышленности / В.Д. Варсанюфьев, Э.Э. Кольман-Иванов. – М.: Химия, 1981. – 240 с.

Рецензія/Peer review : 8.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Клевцов К.М.

ВОДА ПІД ВЗАЄМОДІЄЮ РІЗНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОЛІВ: ВЛАСТИВОСТІ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВІБРАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ

Проведено експериментальні дослідження властивостей води за її основними параметрами після впливу різних енергетичних полів та їх взаємодії. Виконаний аналіз енергетичної структури води після її обробки за видом осаду висохлої краплі води. Отримані характеристики зміни властивостей води з часом після впливу на неї вібраційного, кавітаційного і магнітного полів. Створено нові конструкції вібраційних машин для зміни властивостей рідинних середовищ, отриманих на основі води. Визначено оптимальні параметри конструктивних елементів запропонованого обладнання. За умови використання такої води у сільському господарстві забезпечується підвищення схожості сільськогосподарських культур, а вживання такої води і проникнення її в клітинну структуру людського організму у вигляді мономолекул прогнозовано може привести до зменшення його енерговитрат.

Ключові слова: властивості води, вібраційні машини, кавітація, магнітне поле

R.I. SILIN, A.I. GORDEEV, E.A. URBANJUK
Khmelnitsky National University

WATER UNDER THE INTERACTION OF DIFFERENT ENERGETYCZNYCH FIELDS: PROPERTIES, EXPERIMENTAL STUDIES AND VIBRATORY EQUIPMENT

Abstract – Created design vibrating machines while the effect of cavitation, the magnetic field to change the properties of water and its activation. Experimental studies to confirm operability of equipment. A comparative experimental study of changes of water properties with the measurement of the main parameters of water after exposure to various energy fields and their simultaneous effects. The analysis of the energy structure of water by type of sludge dried drops of water. Created new design vibrating machines to change the properties of the liquid media is water based. The obtained characteristics of changes in properties of water with time after exposure to vibratory cavitation and magnetic fields. The optimal dependence of the structural elements of the proposed equipment. The scientific novelty of the proposed method and designs of vibrating machines to change the structure of water - splitting on nanomolecule with the rupture of hydrogen bonds between molecules, reducing surface tension and activation of the water. The optimal modes of operation of the vibration actuator. Studies have shown a decrease in the hardness of the water, raising the pH, the reduction of surface tension, which leads to lower energy consumption of the human body when its penetration into the cell structure in the form of monomolecular, increasing the germination of crops.

Keywords: the properties of water, vibration machines, cavitation, magnetic field

Постановка проблеми. Вода є основою нашого життя, а водоспоживання в індустріальному світі постійно зростає. Уже тепер у південних і східних регіонах України відчувається значний дефіцит прісної води. Тому все актуальнішою стає проблема розумного використання прісної води і, особливо, очищення зростаючих обсягів стічних вод, а також організація замкнених систем водоспоживання в промисловості, сільському і комунальному господарстві. В результаті робіт, що були виконані у напрямку раціонального використання води, були розроблені конструкції споруд і обладнання для очищення стічних вод, освоєні нові високоефективні технологічні процеси [1]. Це дозволило скоротити забір води з природних водойм, зменшити об'єм стічних вод, а також зменшити згубний вплив останніх на навколишнє середовище. Проте, остаточно ця проблема далеко не вирішена.

Виділення невирішеної проблеми. Велике розмаїття конструкцій обладнання для очищення відпрацьованих вод у промисловості і комунальному господарстві, на превеликий жаль, освоюються дуже повільно, або і зовсім не освоюються. Тому розробка технологій та обладнання для безреагентного очищення води, позитивних змін її властивостей та активації є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень. В розробку теоретичних основ і технологій водопідготовки та очищення стічних вод у свій час вагомий внесок внесли Л.А. Кульський, В.М. Гороновський, О.М. Когановський, М.О. Шевченко, М.К. Ротмютров і багато інших відомих вчених. За останні роки вплив ефектів гідрокавітації на зміну властивостей водного середовища вивчали І.С. Афтаназів, Т.М. Вітенько, А.А. Литвиненко, А.В. Некоз, П.М. Немирович, Л.І. Шевчук та інші.

У складі молекули води іон водню (протон) не має внутрішніх електронних шарів, завдяки чому його розміри малі і він може проникати в електронну оболонку негативно поляризованого атома кисню сусідньої молекули, утворюючи з нею водневий зв'язок. З іншого боку молекула води є активним диполем, де негативно заряджена сторона є киснева, а позитивно заряджена - воднева. Протилежні полюси різних молекул води притягуються і утворюють полярні зв'язки, руйнування яких потребує значних затрат енергії [2]. Диполі води також є основною причиною мікрокластерної структури води.

Цю властивість виявила група вчених на чолі із доктором біологічних наук С.В. Зеніним: спочатку у воді були зафіксовані водневі містки-довгожителі, а згодом як структурні елементи води і так звані суперстабільні скупчення, або кластери. Складна організація структури води, що включає в себе супернадмолекулярні комплекси, призводить до того, що властивості водної системи не визначаються простою сумою властивостей окремих її структурних елементів, а виникає нова якість - властивість корпоративності [3].

Одним з потужних впливів на властивості води є кавітація. Найбільший технологічний інтерес привертають гідродинамічні кавітаційні пристрої, у яких в потоці оброблюваної рідини утворюється місцеве зниження тиску і за рахунок різкої зміни геометрії течії рідини розвивається гідродинамічна кавітація. Енергія для виникнення кавітації підводиться безпосередньо технологічним потоком рідини (гідродинамічні пристрої статичного типу), або обертовими кавітаторами (гідродинамічні пристрої динамічного типу). В рідині кавітація виникає як одиничний зародок. Далі мікропухирці розвиваються у стабільну область, яка складається із безлічі кавітаційних бульбашок. При сплескуванні кавітаційна бульбашка може втрачати стійкість і розпадатися на частини, а при тому, що тиск і температура в цей момент в бульбашці максимальні, то тиск і температура парогазової суміші в "уламках, що утворилися" теж підвищені. У фазі розтягування вони легко розширюються і стають новими зародками кавітації, хоча і менш стійкими, ніж ті, що постійно наявні у рідині. Кавітаційні порожнини, які виникли у цих зародках, породжують нові. Всередині кавітаційної області йде безперервний процес розмноження і коагуляції кавітаційних бульбашок, причому, кавітаційний поріг дещо зменшується, так як в усталеному режимі роль кавітаційних зародків починають виконувати бульбашки, які утворилися при сплескуванні, обсяг і газоміст у яких більший, ніж у зародків [2].

Використання вібраційних коливань в технологічному обладнанні з активним рідинним середовищем обумовлене їх високими якісними характеристиками, а, в окремих випадках, вібраційні коливання є єдиною можливістю реалізації технологічних процесів очищення води чи водопідготовки. Тому створення ефективних машин, які б дозволяли прискорити процес отримання активованої води, є важливим завданням. Такі спроби запропоновані в даній статті далі.

Вода є надважливою складовою життєвого циклу. Вона відіграє роль не лише хімічного розчинника, але є охоронцем та носієм інформації, що несе коди життєвих процесів. По мірі розвитку науки відкриваються нові аспекти впливу якості води на людину і техніку: через засоби впливу на властивості води, тобто, тимчасового набуття водою нових особливих якостей, які можуть зберігатися протягом певного часу, нові фізичні явища і способи активації води та водних систем на нанорівні.

Одним із способів покращення якості води є вплив на неї постійним магнітним полем. У природі це відбувається природним шляхом при проходженні води через земні породи. В роботі [4] показано, що під впливом магнітного поля відбувається ослаблення або розрив водневих зв'язків між молекулами води, внаслідок чого зростає їх рухливість. У той же час зміну фізико-хімічних властивостей води під впливом магнітного поля пов'язують із наявністю в ній домішок, особливо, феромагнітних [5].

Доведено, що намагнічена вода має підвищену проникливість крізь клітинні мембрани, очищує судини людського організму від чужорідних білків, знижує рівень холестерину в крові і печінці, покращує обмін речовин, сприяє м'якому роздробленню каменів у жовчному міхурі та нирках. Окрім того, вона нормалізує артеріальний тиск, підвищує тонус організму, а також стимулює імунітет і регенерацію клітин, що особливо важливо за наявності слабо виражених запальних процесів, ран, що не загоюються, і переломів. Цілющі властивості намагніченої води зберігаються, зазвичай, протягом короткого періоду, що слід враховувати при лікуванні нею. Класичне підтвердження ефективності намагніченої води – це прискорення росту рослин.

Водопровідна вода, яку ми вживаємо, істотно відрізняється від тієї, що оточує тканини і клітини організму людини. Основним із вивчених характеристик води різної якості є відмінність її поверхневого натягу. Гідрокавітація та дія магнітного поля здатні знижувати коефіцієнт поверхневого натягу рідини [2] до значень, майже рівних коефіцієнту поверхневого натягу людської крові. Це полегшує транспорт поживних речовин безпосередньо в клітини і сприяє виведенню з організму токсинів. При вживанні структурованої води збільшується електрична провідність організму, що веде до зменшення витрат енергії на проникнення молекул води через мембрани клітин, а також відбувається збагачення організму електронами, які необхідні для обміну інформацією на клітинному рівні. Багато авторів відзначають, що внаслідок активації водних систем змінюється їх поверхневий натяг, в'язкість та електропровідність, а також розчинність в них газів, ширина ліній ядерного резонансу, швидкості і характер випадіння осаду з розчинів окремих солей, а також підвищується біологічна активність водних розчинів [5].

Виділення невіршеної раніше частини загальної проблеми. Створення класу малогабаритних вібраційних машин для індивідуального використання, у яких для зміни властивостей води використовується гідрокавітація з одночасним впливом магнітного поля є актуальною задачею.

Виклад основного матеріалу. Авторами проведено ряд досліджень властивостей води, яка підлягала обробці гідрокавітацією і магнітним полем одночасно. Загальний вигляд експериментальної установки наведено на рисунку 1. Кулачковий вібропривод установки обрано із тих міркувань, що він дає можливість переналадження амплітуди коливань, окрім того, забезпечується стабільність величини амплітуди коливань при зміні їх частоти, що у порівнянні з іншими конструкціями віброприводів, є перевагою при проведенні експериментальних досліджень.

Установка складається з корпусу 1, на якому змонтовано кулачковий вібропривод 2, що приводиться в рух від двигуна постійного струму 3. Зміна амплітуди коливань віброприводу реалізується заміною кулачків з ексцентриситетом від 0,5мм до 3мм. Частота коливань регулюється в межах від 0 до 30 Гц зміною напруги, що подається на обмотки двигуна типу ГПЗ-3 за допомогою ЛАТР. Для контролю частоти обертання ротора двигуна використовується міліамперметр М903 1.0 кл. ГОСТ 8711-80, шкала

якого проградуєвана в Гц. Вібропривод 2 з'єднаний штоком з мембраною камери 4 формування пульсуючого потоку, на якій встановлено циліндр-насадок з прозорими стінками для візуальних спостережень. Стінки немагнітного циліндра охоплюють постійні магніти 5.

Установка працює наступним чином: при русі мембрани вниз у камері 4 відбувається зниження тиску і рідина з циліндричної ємності через насадок втягується в камеру. При русі мембрани вгору тиск у камері 4 зростає і рідина через насадок повертається назад в циліндричну ємність. При протіканні рідини через насадок утворюється кільцева кавітаційна порожнина, яка руйнується при досягненні максимального значення тиску рідини в камері пульсації. Гідрокавітація і магнітне поле енергетично впливають на структуру води, змінюючи її властивості.

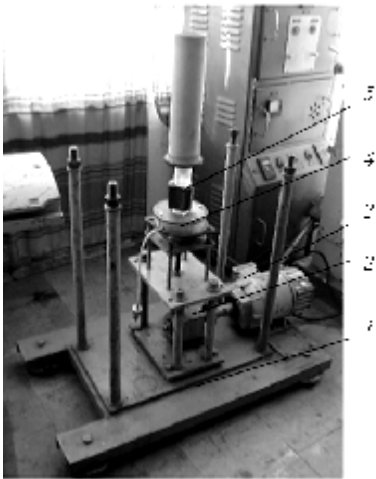


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної кавітаційно-магнітної установки

Багатофакторний експеримент із застосуванням ротатабельного плану другого порядку. Для проведення дослідів була складена матриця планування. При цьому були враховані наступні основні чинники (фактори), що впливають на величину гідродинамічного тиску струменя y : x_1 – діаметр насадка при постійному діаметрі камери пульсації; x_2 – частота пульсацій приводу; x_3 – амплітуда пульсацій приводу. В результаті обробки результатів досліджень було отримане рівняння регресії наступного виду

$$y = -108,8 + 1,805d + 11,836f + 1,695A + 0,9375d \cdot A - 0,336f^2 + 3,233A^2. \quad (1)$$

Перевірка адекватності отриманої моделі проводилась за критерієм Фішера. Для отримання оптимальних значень величини гідродинамічного тиску виконане диференціювання рівняння регресії (1) за змінними параметрами і отримана система рівнянь, корені якої в натуральному вигляді мають наступні значення: діаметр насадка $d = 8\text{мм}$, частота пульсацій $f = 14\text{Гц}$, амплітуда пульсації $A = 0,002\text{м}$. Встановлено також, що рівняння регресії (1) при проектуванні приводів вібраційних установок для різних умов роботи можна використовувати в наступних межах зміни факторів: $8\text{мм} \leq d \leq 12\text{мм}$; $8\text{Гц} \leq f \leq 20\text{Гц}$; $1\text{мм} \leq A \leq 3\text{мм}$.

Залежність максимального гідродинамічного тиску в насадку від частоти коливань мають нелінійний екстремальний характер, а їх максимальні значення досягаються при частоті $f = 14\text{Гц}$ і амплітуді $A = 2\text{мм}$, тому обробку води проводили саме при вказаних вище режимах. В ході експериментальних випробувань досліджувалася зміна основних параметрів води, а саме: залежність віж тривалості обробки кавітацією та зміна у часі після обробки води показника pH , залежність від тривалості обробки та зміна у часі після обробки окисного відновного потенціалу води (показник ORP) і залежність від тривалості обробки та зміна у часі після обробки води вмісту загальної мінералізації (показник TDS).

Результати досліджень представлені на рисунку 2. Показник загальної мінералізації TDS за період кавітаційного оброблення 20 хвилин зростає, а надалі - знижується. Це говорить про утворення нерозчинних у воді карбонатів CaCO_3 , MgCO_3 , оксикарбонатів $\text{Mg}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ і гідроокисів $\text{Fe}(\text{OH})_2$, які з часом випадають в осад і тому зменшується загальна концентрація вмісту розчинених речовин. Зростання показника pH за період оброблення спричинене розриванням водневих зв'язків у молекулах, але з часом цей показник стабілізується на рівні $8,2\text{pH}$. Зниження показника ORP від 300 до 180 мВ говорить про підвищення окислювального відновлювального потенціалу рідини, який з часом збільшується до 240мВ (рис. 2).

Результати експериментальних досліджень одночасного впливу кавітації та постійного магнітного поля на показники TDS , pH та ORP води з крана представлені на рисунку 3. Застосування при обробці води одночасного впливу кавітації і магнітного поля збільшує pH до 9,0 од., що більше ніж при дії лише кавітаційного впливу. Це говорить про інтенсифікацію процесу розривання водневих зв'язків між молекулами води. Показник ORP у період обробки знижується, але потім за першу годину після обробки зростає, проте, надалі з часом він падає. Цю поведінку можна пояснити відсутністю віддаленого впливу магнітного поля після припинення обробки.

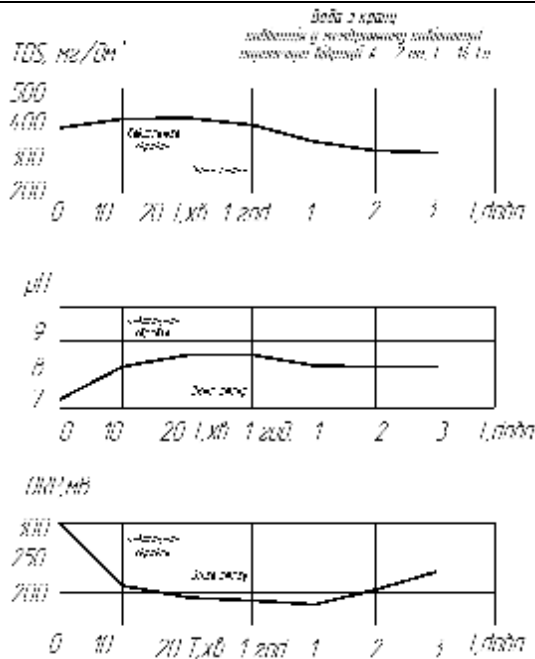


Рис. 2 - Зміна показників води з крана: TDS, pH, ORP з часом, обробленої кавітацією

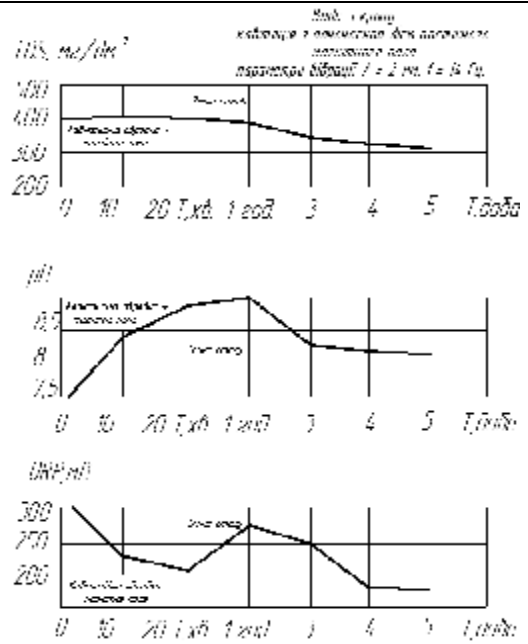


Рис. 3 - Зміна показників води з крана: TDS, pH, ORP з часом під впливом одночасної дії кавітації та постійного магнітного поля

Авторами проведені експериментальні дослідження із визначення тривалості збереження у часі основних показників стану води після її оброблення. Виконувалось також оцінювання структурного стану рідини методом аналізу структури кристалічних структур осаду при випарюванні краплі рідини. Будова кристалічних структур осаду залежить від енергетичних умов кристалізації. Вода із крана, а також вода після обробки одночасно кавітацією і постійним магнітним полем, наносилася у вигляді крапель на скло і висушувалась при кімнатній температурі. Фіксація структури їх характерних ділянок проводилася фотографуванням за допомогою мікроскопів МІМ-10 і МБС-10.

На рисунку 4 показаний кристалічний осад краплі води з крана необробленої. Форма кристалів осаду, особливо в крайовій зоні, говорить про певну впорядкованість кластерної структури води зі значним поверхневим натягом.

Структура кристалів осаду краплі води з крана, обробленої протягом 20 хвилин кавітацією з одночасною дією магнітного поля, представлена на рисунку 5. Як видно, на різних ділянках осаду спостерігається рівномірний розподіл і врівноважена форма кристалів. Це пояснюється низьким поверхневим натягом, розривом водневих зв'язків та структуризацією такої води.

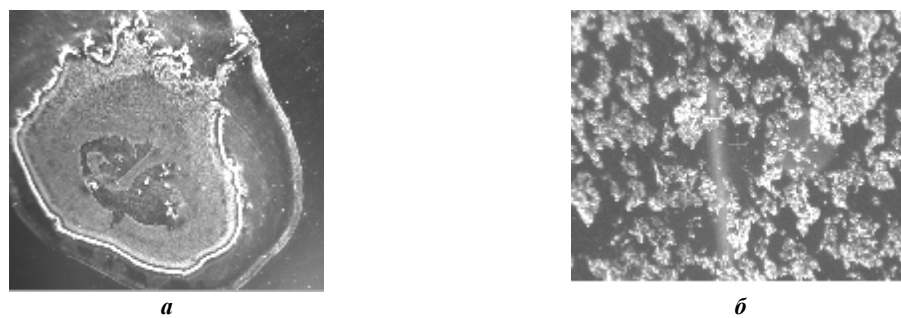


Рис. 4. Структура кристалів осаду краплі води з крана необробленої: а - усієї краплі, б - характерної її ділянки за 150-ти кратного збільшення

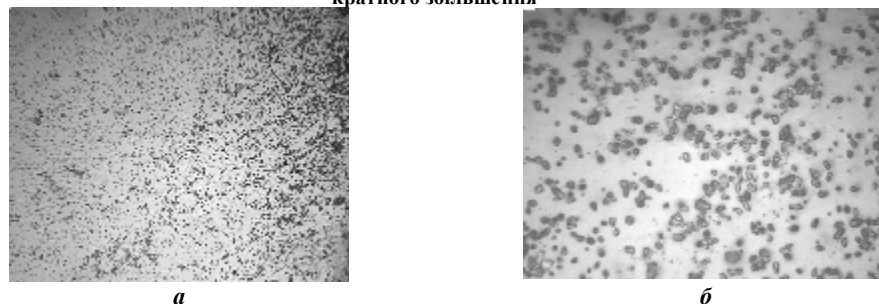


Рис. 5. Структура кристалів осаду краплі води з крана, обробленою кавітацією із одночасною дією магнітного поля: а – за 250-ти кратного збільшення; б – за 660-ти кратного збільшення

Факт, що зміну властивостей води та її структуризацію спричиняє саме гідрокавітація з одночасним впливом магнітного поля, підтверджується також і результатами досліджень властивостей води та її структурного стану кристало-оптичним методом. За результатами проведених досліджень встановлено, що стан активації води після її оброблення зберігається до трьох діб, після чого відбувається стабілізація показників *pH* та *ORP*, але на рівні значно сприятливішому, ніж вихідний. Показник *TDS* з часом зменшується і стабілізується через випадання в осад солей на рівні нижче вихідного.

На основі результатів проведених досліджень запропоновано ряд конструкцій вібраційних установок, що використовують ефекти впливу кавітаційного і магнітного полів. Авторами [6] запропоновано конструкцію пристрою для кавітаційно-магнітної обробки води. Конструкція кавітаційно-магнітного пристрою для обробки води показана на рисунку 6.

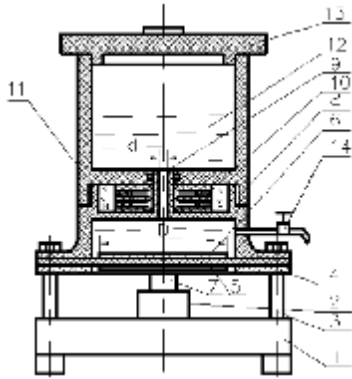


Рис. 6. Схема кавітаційно-магнітного пристрою для обробки води

Працює пристрій наступним чином: вода 12 заливається в ванну 8 після чого ванна 8 закривається кришкою 13. Включається вібропривод 2. Завдяки коливанням гумової мембрани 5 з дисками 6 рідина 12 отримує багаторазовий зворотно-поступальний рух через отвір 9. При проходженні рідини через отвір 9, завдяки певним співвідношенням діаметра диска *D* до діаметра *d* отвору ($D/d = 12$), підібраними відповідно з резонансом системи амплітуди і частоти коливань вібропривода, в отворі 9 періодично утворюється кавітаційні порожнини. Блок постійних магнітів 11 створює магнітний неоднорідний потік із значним градієнтом напруженості завдяки загостреним пластинам 10, які встановлені через немагнітні прокладки. Гідрокавітація і магнітне поле енергетично впливають на структуру води, змінюючи її властивості. Після певного терміну багаторазового проходження крізь отвір 9 вода зливається через кран 14. Запропоновано обладнання для кавітаційно-магнітної обробки води з елементами, що активують (рис.7) і електромагнітним

приводом.

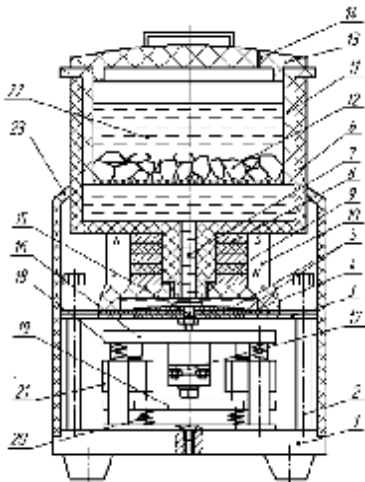


Рис. 7. Обладнання для кавітаційно-магнітної обробки води з елементами, що активують, і електромагнітним приводом

Обладнання працює наступним чином: вода 22 заливається в ванну 6, у неї встановлюється стакан 11 з елементами, що активують, 12 і закривається кришкою 13. Змінний струм подається на котушки 21. Через шток 15 коливання від електромагнітного приводу передаються мембрані 4 з дисками 5. Завдяки коливанням гумової мембрани 4 з дисками 5 рідина багатократно зворотно-поступально переливається через отвір 7. Струм рідини, що виникає, спрямований на активні елементи 12 і інтенсивно їх омиває. Блок металевих кілець 8 з постійними магнітами 10 створює магнітний неоднорідний потік з градієнтом напруженості. Ці два фактори впливають на структуру води енергетично, змінюючи її властивості і приводячи в активний стан. Після певної тривалості оброблення вода зливається через кран 24 [7].

Вібраційний привод працює наступним чином. Дві суміжні плити - проміжна 16 і реактивна 19 - з'єднані через віброізолятори з нерухою основою 1, і рухаються синфазно (як одне ціле) з рівними амплітудами коливань завдяки виникненню між ними періодично змінного зусилля збудження, що розвивається електромагнітними вібраційними збудниками 21. Активна плита 17 збуджується від проміжної плити 16 кінематично через пружну систему і рухається в протифазі до двох суміжних плит.

Умова забезпечення синфазних коливань передбачає наступне: проміжна 16 і реактивна 19 маси, перебуваючи в силовому збуренні від електромагнітного віброзбудника 21, будуть рухатися як одне ціле синфазно, тобто, їх коливання будуть однаково зсунуті відносно збуджуючого зусилля по фазі і рівні за амплітудою. Це забезпечує економне споживання електроенергії, так як повітряний зазор між якорем і осердям котушки буде мінімальним і не буде залежати від відносної амплітуди коливань проміжної 16 та реактивної 19 мас, а, як наслідок, і від амплітуди коливань активної маси [8].

Досліди, проведені на моделях описаних вище установок, показали збільшення у воді показника *pH* від 6,76 до 8,12 од. Дослідження структури кристалічних осадів води після обробки випаровуванням її крапель показали, що структура осаду дрібнокристалічна і більш структурована, спостерігається також інтенсивніше розтікання краплі по поверхні, що свідчить про зменшення поверхневого натягу води після обробки, зміну її властивостей та активацію.

Висновки і перспективи розвитку напрямку. За результатами ряду досліджень впливу на властивості води та її структурний стан різних методів активації встановлено, що гідрокавітація з одночасним впливом магнітного поля однозначно призводить до зміни властивостей води та її структури. Встановлено також, що отриманий стан активованої води зберігається до трьох діб, після чого відбувається

стабілізація показників *pH* та *ORP*, але на значно вищому, ніж вихідний, рівні для *pH* і нижчому, ніж вихідний, для *ORP*, показник загальної концентрації вмісту розчинених солей теж зменшується від 400 до 300 одиниць, що свідчить про поліпшення якості питної води.

Враховуючи перспективність застосування запропонованих авторами методів очищення та активації води, варіанти конструкцій установок та результати досліджень з оптимізації їх режимів роботи можуть бути корисними при створенні подібних установок і пристроїв індивідуального користування.

Література

1. Сухоставець П.Т. Перспективи використання електроплазмової безреагентної технології для забезпечення якісною питною водою і надійною каналізацією малих міст та сільських населених пунктів / П.Т. Сухоставець // Винахідник і раціоналізатор. – К.: 2005. – №1. – С. 30–33.

2. Федоткин И. М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов). Ч.1. / И.М. Федоткин, И.С. Гулый – К.: Полиграфкнига, 1997. – 940 с.

3. Смирнов А.Н. Супранадмолекулярные комплексы воды / А.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2004. – т. XLIII, № 2. – С. 125 – 135.

4. Баран Б.А. Вплив магнітного поля на фармакодинаміку деяких сполук / Б.А. Баран // Науковий вісник Ужгородського ун-ту. – 1999. – вип. 4. – С. 154 – 156.

5. Миненко В.И. Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике / В. И. Миненко. – Х.: Изд-во при Харьков. гос. ун-те, 1981. – 96 с.

6. Патент на корисну модель 37257 Україна, МПК C02F1/48. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Б.А. Баран, Є. А. Урбанюк (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – № 200806742; Заявл. 16.05.2008; Опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. – 4 с.

7. Патент на корисну модель 83891 Україна, МПК C02F1/30. Вібраційний пристрій для очистки та підготовки питної води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.П. Франчук, Р.С. Сілін, В.І. Кухар (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – № 201214677; Заявл. 21.12.2012; Опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19. – 4 с.

8. Ланець О.С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом. (Теоретичні основи та практика створення): Монографія / О.С. Ланець. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 324 с.

Рецензія/Peer review : 20.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

У статті розглянуто та проаналізовано механізацію та автоматизацію технологічних процесів виготовлення матеріалів. Виявлено проблеми та задачі, які потрібно вирішити для створення гнучких автоматизованих підприємств. Успішне вирішення цих задач забезпечується використанням у виробництві нових досягнень науки та техніки: прогресивних технологічних процесів, високоефективного устаткування, автоматичних систем управління технологічними процесами та засобів контролю технологічного обладнання, що сприяє зменшенню матеріальних та енергетичних витрат, покращенню умов праці та підвищенню якості продукції.

Доведено, що впровадження принципово нових засобів неруйнівного контролю, дозволить не тільки поліпшити якість продукції, але й зменшити енергетичні та матеріальні затрати на одиницю продукції.

Істотного значення набуває інформаційний зворотний зв'язок, який полягає в формуванні керуючих впливів на окремі компоненти технологічного процесу, заснованих на зібраних в ході роботи інформаційних даних про широкий спектр факторів, які впливають на її функціонування. Керуючі впливи при цьому можуть бути у вигляді реакції на вихід за межі допустимих значень певних параметрів у результаті збору даних в конкретний момент часу, так і у вигляді виявлення проблемних місць на основі статистичних даних, зібраних протягом тривалого часу роботи.

Встановлено, що використання телевізійних засобів контролю для забезпечення інформаційного зворотного зв'язку технологічного обладнання дозволить підвищити якість продукції за рахунок точності та швидкості вимірювання.

Ключові слова: телевізійні засоби контролю, якість, інформаційний зворотний зв'язок.

N.M. ZASHEPKINA, V.A. POREV

Natsionalny tehniczny universitet Ukraine "Kiev The politehniczny institut"

APPLICATION TELEVISIONNIH CONTROLS PROCESS EQUIPMENT

Abstract. In article mechanisation and automation of technological processes of manufacturing of materials. Are considered and analysed problems and tasks, which need to be solved for creation of the flexible automated enterprises are revealed. The successful decision of these problems is provided with use in manufacture of new achievements of science and technology: progressive technological processes, the highly effective equipment, automatic control systems of technological processes and equipment control devices that promotes reduction of material and power expenses, improvement of working conditions and production improvement of quality.

It is proved that introduction of essentially new means of not destroying control, will allow not only to improve quality of production, but also to reduce power and material inputs by a unit of production.

Essential value is got by an information feedback which consists in formation of operating influences on separate components of the technological process, based on the details collected during work about a wide spectrum of the factors influencing its functioning. Operating influences thus can be in the form of reaction to an exit for limits of admissible values of certain parameters as a result of data gathering during the concrete moment of time, and in the form of revealing of problem places on the basis of the statistical data collected for a long time of work.

It is established that use of television control devices for maintenance information a process equipment feedback will allow to raise quality of production at the expense of accuracy and speed of measurement.

Keywords: television control devices, quality, information a feedback.

Вступ

Механізація та автоматизація важких операцій і процесів в промисловості є одним з основних резервів підвищення виробництва. Крім того, комплексна механізація і автоматизація значно знижує собівартість виробів, що забезпечує їх високу якість, сприяє виконанню правил техніки безпеки та є базою для автоматизації виробничих процесів й створення гнучких автоматизованих підприємств.

Успішне вирішення цієї задачі забезпечується використанням у виробництві нових досягнень науки та техніки: прогресивних технологічних процесів, високоефективного устаткування, автоматичних систем управління технологічними процесами та засобів контролю технологічного обладнання, що сприяє зменшенню матеріальних та енергетичних витрат, покращенню умов праці та підвищенню якості продукції.

Зокрема, у роботі сучасних підприємств відіграє надзвичайно велике значення внутрішньофабричний транспорт, який призначений для перевезення сировини, напівфабрикатів, готової продукції, допоміжних матеріалів, запасних частин, устаткування й відходів виробництва між цехами, усередині цехів, між окремими переходами виробництва, у межах окремих операцій, а також для механізації складських операцій. Внутрішньофабричний транспорт класифікується за призначенням, наприклад, внутрішньоопераційний, міжопераційний, внутрішньоцеховий, міжцеховий, та за способом дії – безперервної дії та періодичної дії [1]. Транспорт періодичної дії, тобто працюючий періодично в міру необхідності, складається з тягачів, навантажувачів з вантажозахватними пристроями, не самохідних і самохідних візків. Всі ці засоби механізації відносяться до підлогового транспорту. До підвісного транспорту періодичної дії відносяться підвісні рейкові дороги з каретками й кран-балки. В окрему групу входить вертикальний вид транспорту ліфти (підйомники).

До транспорту безперервної дії відносяться підлогові стрічкові та ланцюгові конвеєри, рольганги, а до підвісного транспорту безперервної дії – підвісні конвеєри (стрічкові, ланцюгові й канатні, підвісні візки й пневматичний транспорт) [1].

Постановка завдання. Механізація операцій з перевезення продукції з одного цеху в інший дозволяє значно скоротити число транспортних робітників, але не усуває повністю необхідність у їх роботі.

Але і в роботі внутрішньофабричного транспорту є проблеми – зокрема, в узгодженні транспортних потоків, від яких залежить своєчасна подача продуктів та напівфабрикатів для подальшої їх переробки. Ці проблеми можна вирішити за допомогою сучасних телевізійних засобів контролю регулювання швидкостей подачі сировини та продуктів від одного виду обладнання до іншого.

Зовсім інші рішення потрібні при створенні технологічних агрегатів і потокових ліній. При цьому відпадає необхідність у використанні внутрішньофабричного транспорту або деяких його видів. Машини, що входять до складу агрегату або потокової лінії, працюють як одне ціле, маючи загальне керування, зосереджене в так званих магнітних станціях. В агрегатах і потокових лініях, які працюють на виробництвах, всі електродвигуни машин керуються єдиною схемою. Ця схема забезпечує правильну послідовність пуску й зупинки машин, підтримує необхідну робочу швидкість, дозволяє вести роботу як у режимі агрегата, так і в режимі налагодження, коли потрібно пускати й зупиняти кожну машину незалежно від інших. Крім перерахованих дій, схема управління агрегата дозволяє виконувати й інші операції: одночасну зміну швидкості всіх машин, запуск у хід на найменшій швидкості, сигналізацію щодо нормальної роботи або про порушення технологічного процесу тощо [1].

Очевидно, що обробка сировини на потокових лініях має більші переваги у порівнянні зі звичайною обробкою. Працюючи при незмінних температурах, рівнях, концентраціях розчинів, точно витримуючи встановлену тривалість окремих процесів і забезпечуючи суворе дотримання технологічного режиму, потокові лінії дають продукцію постійної високої якості.

Сучасні машини та потокові лінії в порівнянні з попередніми поколіннями мають у своєму складі високотехнологічне електронне обладнання, датчики різних типів, що дозволяє враховувати в процесі автоматизованої обробки сировини різноманітні стаціонарні та нестационарні силові, теплові та віброакустичні впливи. Основними тенденціями подальшого розвитку оснащення виробництв є: підвищення рівня автоматизації, збільшення робочих швидкостей, застосування нових матеріалів, технічних рішень приводів, датчиків на основі нанотехнологій, експертних систем вибору режимів роботи, адаптивних систем управління та ін. Зрозуміло, що це призводить до необхідності багатопараметричного моніторингу стану обладнання та оброблюваної сировини засобами вбудованої і зовнішньої контрольно-вимірювальної апаратури, зокрема, для забезпечення розподілених контрольних вимірювань.

Мета даної роботи полягає в тому, щоб привернути увагу науковців та фахівців-технологів до потенційних переваг принципово нових засобів неруйнівного контролю, впровадження яких дозволить не тільки поліпшити якість продукції, але й зменшити енергетичні та матеріальні затрати на одиницю продукції.

Результати та їх обговорення. В сучасних умовах механізації та автоматизації транспортних операцій в ході виконання технологічних процесів виникає необхідність отримання та обробки безлічі інформаційних потоків, що стосуються даних вимірювань, стану обладнання.

Наприклад, розглянемо технологічний процес відбілювання тканини в опоряджувальному виробництві. Схема потокової лінії для відбілювання тканини представлена на рисунку 1.

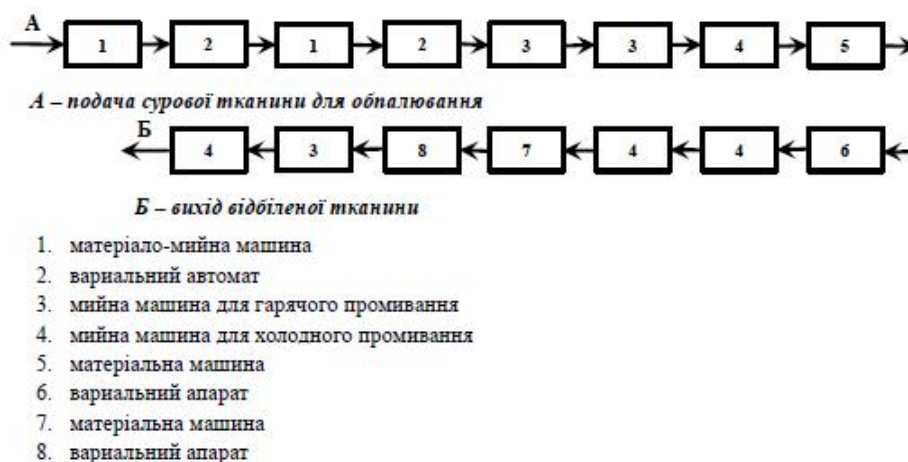


Рис. 1. Схема потокової лінії для відбілювання тканини в джуті

Для якісного відбілювання потрібно застосовувати автоматичне регулювання концентрації розчинів хімікатів, рівня й температури води, рівня тканини у варильних апаратах, а також автоматичний запис витрати води, пари, розчинів кислот, лугів тощо. Врахуємо, що у потокову лінію входять 11-15 машин.

Суворя тканина після обпалювання надходить у першу матеріало - мийну машину 1 (рис. 1), де просочується розчином їдкого натру. Із цієї машини тканина переходить у перший варильний апарат 2, де запарюється протягом години, а потім у другу матеріало - мийну машину 1 для вторинного просочення розчином їдкого натру й у другий варильний апарат 2. Після цього тканина надходить для промивання гарячою водою в мийні машини 3 і для холодного промивання в мийну машину 4. Вийшовши з останньої мийної машини, тканина переходить у матеріальну машину 5, де просочується розчином сірчаної кислоти. Потім тканина надходить у варильний апарат 6, у якому вилежується протягом півгодини. Із цього апарата вона переходить у мийні машини 4, у яких промивається холодною водою. Після цього надходить у матеріальну машину 7 для обробки перекисом водню, потім переходить у четвертий варильний апарат 8 і проходить у мийну машину 3 для гарячого промивання й, нарешті, в останню мийну машину 4 для остаточного промивання холодною водою.

Таким чином, контроль температури води, концентрації розчину сірчаної кислоти та час знаходження матеріалу в кожній машині дуже важливі для виготовлення суворі тканини високої якості, а застосування сучасних засобів контролю є актуальним. Методи контролю, які застосовуються зараз застарілі і потребують зупинки обладнання, що призводить до порушення ходу технологічного процесу і зниження якості матеріалу.

Візьмемо інший приклад – виготовлення пряжі. Технологічний процес складається з більше як десяти операцій – від розпушування стосів з сировиною, рихлення, тіпання, чесання до випуску чесаної стрічки, стрічки, пряжі. Технологічний процес складається з двох ділянок. Перша ділянка включає машини, що здійснюють операції від розпушування стосів до випуску чесаної стрічки. Стоси бавовни подають електротельфером на автоматичні живильники 1, які розпушують бавовну й передають на очисники - розпушувачі 2, з яких волокно надходить на горизонтальні розпушувачі 3. Тут волокно проходить розпушування й очищення й передається пневматичним транспортом 7 у машину безперервні дії для змішування 4. З машини 4 волокно за допомогою пневматичного розподільника подається на тіпальні машини 5 і потім на чесальні машини 6. Ці машини обладнані холстоутворювачами й автозйомами.

На другій ділянці полотна надходять на стрічковий транспортер 8, що подає їх на стрічкові машини 9. Стрічкові машини входять у другу ділянку потокової лінії. Високошвидкісні стрічкові машини формують волокно в холстики. Холстики надходять зі стрічкових машин на транспортери 11, які подають їх на прядильні машини 10 надвисокої витяжки (рис. 2).

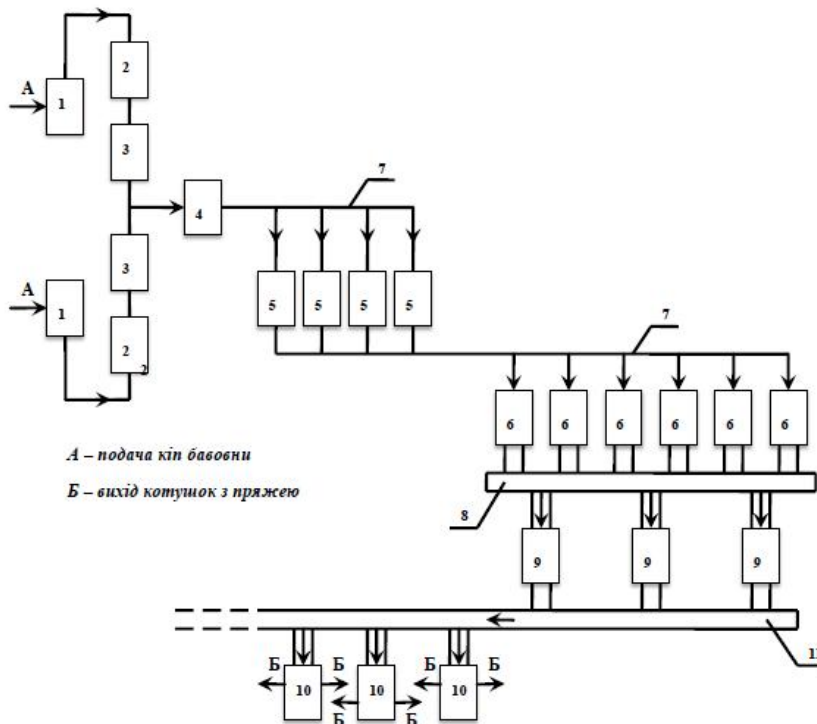


Рис. 2. Схема поточної лінії в прядінні бавовни

Прядильні машини обладнані регуляторами прядіння, пухообдувачами і мичкоуловлювачами. Постає питання щодо контролю довжини волокна, товщини шару волокна, швидкості його подачі від переходу до переходу. На першій ділянці особливу увагу потрібно приділяти товщині шару волокна. Коливання товщини призводить до нерівномірного продукту і проблем на інших ділянках технологічного процесу. Використання телевізійних засобів контролю та зворотній зв'язок вимірювальних засобів з механізмами подачі сировини зменшить час проходження технологічних операцій та покращить якість виготовлюваного продукту. Особливо важливо, що вимірювання товщини шару настилу може проходити

без зупинки обладнання. В перерахованих, а також в багатьох інших аналогічних задачах, істотного значення набуває інформаційний зворотний зв'язок, який полягає в формуванні керуючих впливів на окремі компоненти технологічного процесу, заснованих на зібраних в ході роботи інформаційних даних про широкий спектр факторів, які впливають на її функціонування. Керуючі впливи при цьому можуть бути у вигляді реакції на вихід за межі допустимих значень певних параметрів у результаті збору даних в конкретний момент часу, так і у вигляді виявлення проблемних місць на основі статистичних даних, зібраних протягом тривалого часу роботи системи. Інформаційний зворотний зв'язок служить для своєчасного коректування виявлених порушень технологічного процесу, виявлення трендів, встановлення точних причин виникнення браку. Від того, як реалізована система засобів контролю та інформаційний зворотний зв'язок, залежить весь хід технологічного процесу [2]. Тому особливе місце серед сучасних методів і засобів неруйнівного контролю належить телевізійним інформаційно – вимірювальним системам (ТІВС), які надають унікальні можливості для дослідження повного циклу різноманітних технологічних процесів. За допомогою ТІВС інформація про структуру, стан та властивості об'єктів різної природи, яка міститься в їх випромінненні, перетворюється в зображення та аналізується. Принциповою відмінністю ТІВС від аналогів є великий обсяг вибірки — 10^6 - 10^7 елементів, порівняно малий час формування всієї вибірки — 0,04-0,4 секунди та невеликий розмір елемента розкладу зображення — 7-10 мкм [3]. Поєднання вказаних характеристик надає унікальну можливість провадити вимірювання геометричних, динамічних та енергетичних (температурних) параметрів об'єктів в реальному масштабі часу з високим просторовим розрізненням шляхом аналізу як власного випромінювання, так і того, що відбилося або пройшло через об'єкт [3].

Зрозуміло, що вибір технічного засобу для вимірювання швидкостей, концентрацій розчинів, температури, рівня рідини та параметрів продуктів, обумовлюється вимогами щодо контролю даної ланки технологічного циклу. Наприклад, якщо необхідно вимірювати швидкість подачі матеріалу або його переміщення та товщину шару в площині машини, то задача може бути вирішена за допомогою контактних або смісних перетворювачів. Сучасні ж засоби телеметрії дозволять виконати це завдання з точністю до долей секунди, а при вимірюванні шару волокна точність складатиме 7 мкм, що призведе до покращення якості виготовлюваного продукту. Вимірювання та контроль натягу пружної системи заправки на ткацькому верстаті також потребує використання сучасних засобів контролю та узгодження натягу в зоні ниток та тканини. Застосування неруйнівного контролю цих параметрів в ході технологічного процесу утворення тканини забезпечить якісну роботу як устаткування так і виготовлення тканин заданого асортименту. Причому, точність вимірювання довжини тканини при швидкості ткацтва більш як п'ять метрів в хвилину складає 10 мкм.

Висновки

1. Виконано аналіз технологічних процесів виготовлення різних текстильних матеріалів з огляду на необхідність застосування нових засобів контролю якості матеріалів.
2. Показано важливість вирішення проблеми контролю якості виробів на кожному з технологічних переходів та необхідність зворотного зв'язку.
3. Встановлено, що використання телевізійних засобів контролю для забезпечення інформаційного зворотного зв'язку технологічного обладнання дозволить підвищити якість продукції за рахунок точності та швидкості вимірювання.

Дослідження, виконані в Національному технічному університеті «Київський політехнічний інститут», показали доцільність реалізації засобів контролю технологічного процесу виготовлення текстильних матеріалів на базі ТІВС .

Література

1. Защепкіна Н.М. Оснащення технологічних процесів текстильної промисловості: навч. посібник / Н.М. Защепкіна, А.І. Марченко. – К.: КНУТД. – 2013. – 126с.
2. Акбулатов П.О. Разработка и исследование информационно-измерительной системы распределенных контрольных измерений геометрических параметров деталей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.11.16. М.: Московский государственный технологический университет "Станкин". – 2015. – 192 с. (для РФ).
3. Порев В.А. Телевізійні інформаційно – вимірювальні системи – крок до нових технологій / В.А. Порев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». – 2007. – Вип. 13(121). – С.203 – 207.

Рецензія/Peer review : 15.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Здоренко В.Г.

УДК 681.5:621.313.323

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Д.В.ХОРОЛЬСЬКИЙ, К.Г. ТИТОРЕНКО
Криворізький національний університет**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ
ПІДПРИЄМСТВА ГІРНИЧО - МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ**

В статті досліджено принципи побудови системи автоматизованого управління електроспоживанням збагачувальної фабрики підприємства гірничо-металургійного комплексу у періоді обмежень потужності енергосистеми. Доведено, що зменшення питомих енергозатрат на виробництво однієї тони концентрату може бути досягнуто узгодженим управлінням траєкторіями виробництва концентрату і електроспоживання збагачувальної фабрики у періоді «пік», «напівпік» та «ніч», шляхом оптимального завантаження кульових млинів і вибору на основі інформації датчиків геометрії внутрішньомлинного завантаження уставок адаптивних регуляторів збудників синхронних двигунів.

Ключові слова: електроспоживання, кульові млини, збудники, синхронні двигуни, адаптація, інтелектуальні системи.

V.P.KHOROLSKYI, D.V.KHOROLSKYI, K.G.TITORENKO
Kryvyi Rih National University**AUTOMATED CONTROL SYSTEM POWER CONSUMPTION ENRICHMENT
PLANTS ENTERPRISE MINING - METALLURGICAL COMPLEX**

In the article the principles of automated control system power consumption concentrator mining and metallurgical complex in times of limited power grid. Proved that the reduction of specific energy consumption for production of one ton of concentrate can be achieved consistent management trajectories concentrate production and power consumption concentrator during the "peak", "half-" and "Night" by optimal load ball mills and choice based on information sensor geometry internally mill boot settings of the adaptive regulators pathogens synchronous motors.

Keywords: power, ball mills, activators, synchronous motors, adaptation, intelligent systems.

Вступ

Основним завданням підприємств гірничо-металургійного комплексу України на стратегічному періоді до 2020 року є підвищення конкурентоспроможності продукції до вимог світового ринку концентратів і обкотишів та зменшення питомих енергозатрат на 25-35% від рівня 2013 року. Пріоритетом наукових досліджень на цьому п'ятирічному періоді стане розробка алгоритмів керування енергоємними процесами здрібнення, класифікації, магнітної сепарації і впровадження інтелектуальних систем управління електропостачанням збагачувальних фабрик, які повинні забезпечувати виробництво заданих технологічних параметрів якості концентратів у періоді обмежень потужності енергосистеми [1].

Високі параметри енергозатрат на виробництво однієї тонни продукції підприємств ГМК стимулюють енергоменеджмент до корпоративної реструктуризації процесів обліку та оптимізації споживання електрики, газу, води, пару, дизельного-палива, оливи, куль та інших матеріалів для зменшення собівартості продукції до рівня європейських стандартів [2]. Таким чином, актуальним є зниження енергетичних витрат на ці процеси шляхом розробки автоматизованих систем управління електроспоживанням рудозбагачувальних фабрик (РЗФ), узгоджених з оптимізацією технологічних процесів виробництва концентрату.

З позиції управління електроспоживанням РЗФ ці процеси віднесені до складних динамічних: з нестационарними параметрами і нелінійними залежностями; ті які мають різні режими роботи та залежать як від професійності оперативно-диспетчерського персоналу, енергодиспетчерів, так і технологічних характеристик руд, що надходять на здрібнення [3].

Оптимальне управління електропостачанням і енергоменеджмент підприємств вимагає відповідної апріорної і апостеріорної інформації за допомогою автоматизованих систем контролю об'єктів електроспоживання (АСКОВЕ), SCADA- систем, ефективних засобів нечіткого оцінювання й ідентифікації [4]. Для чого, на наш погляд найбільш перспективними є використання інтелектуальних методів (експертних систем з штучним інтелектом, нейронних мереж, систем з нечіткою логікою мереж Петрі, що здатні до навчання і оцінки нечіткого стану як енергосистеми так і енергоємного технологічного процесу та є універсальними й ефективними апроксиматорами [3].

Крім того квазістационарність й стохастичність керованих процесів електроспоживання РЗФ підприємств ГМК потребує узгодженого управління збагачувальною фабрикою у темпі з одержанням інформації про збурення в системі електропостачання.

Таким чином, задача обґрунтування принципів інтелектуального управління процесами електроспоживання РЗФ, які забезпечують працездатність енергоємних технологічних апаратів – кульових млинів, класификаторів, магнітних сепараторів, гідроциклонів, дешламаторів в умовах обмежень енергопотужності і збуреного середовища є актуальною.

Аналіз досліджень та публікацій

Над науковою проблемою розробки автоматизованих систем електропостачання збагачувальних фабрик з оптимізацією технологічних режимів роботи працювали Б.М. Авілов-Корнаухов [5], В.І. Корнієнко [6], С.В. Кочура [7], І.В. Новицький [8], В.П. Хорольський [9], у наукових працях яких доведено, що ефективність процесів електрозбереження в багатьох випадках залежать від удосконалення конструкцій і автоматизації енергоємних технологічних комплексів магніто-збагачувальних фабрик. Разом з тим ефективність електрозбереження залежить від принципів автоматизації електропостачання, вміння проєктантів спроектувати ці системи інваріантними до збурень технологічних процесів в періоди обмежень потужності енергосистеми, віялових відключень електропостачання об'єктів електрогосподарства підприємств ГМК [1].

Тому потрібно розробити такі автоматизовані системи управління електроспоживання збагачувальних фабрик, які б відрізнялися від існуючих енерго-інжиніринговими рішеннями, щодо проєктування енергоефективних систем з інтелектуальними механізмами пошуку кращого режиму електропостачання з мінімізацією втрат продукції в періоди обмежень потужності енергосистеми та віялових відключень. При цьому розроблені енергозберігаючі способи автоматизованого управління процесами здрібнення, класифікації і магнітної сепарації три стадійного збагачення враховують: зміни властивостей руди, що надходить на першу стадію збагачення; оцінюють геометрію завантаження кульових млинів, щільність пульпи в зливні класифікатора; виконують прогнозування активної та реактивної потужностей першої, другої, третьої стадії збагачення. Отже у нашому випадку виконується оптимізація процесів електропостачання РЗФ.

Метою статті є розв'язання актуальної наукової задачі автоматизованого управління траєкторією електроспоживання збагачувальної фабрики підприємства у періоди обмежень енергосистеми за рахунок розробки системи інтелектуального керування і прогнозування активної і реактивної потужностей, контролю геометрії внутрішньомлинного завантаження, збурень вхідних характеристик залізної руди, що надходить на збагачення і виробництво концентрату заданої якості та продуктивності.

Викладання матеріалу та результати

Корпоративні підприємства ПАТ «ПівніГЗК», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «ІнГЗК», ПАТ «ПівдГЗК», ПАТ «ЦГЗК» з навантаженням від 200 до 1000 МВт відносяться до великих споживачів електрики. Більшість технологічних виробництв електропостачання цих підприємств згідно ПУЕ відносяться до I, II категорій електроприймачів [4].

На збагачувальних фабриках ПАТ гірничо-металургійного комплексу відповідно ПУЕ працюють електроустановки напругою вище 1000 В і до 1000 В, і електроустановки постійного струму до 1500 В. На кожній із 10-20 технологічних секцій РЗФ працюють чотири кульових млина кожний з електроприводом від синхронного двигуна потужністю 2500 кВт, два класифікатори з асинхронними двигунами потужністю до 40 кВт, десятки магнітних сепараторів з асинхронними двигунами до 10 кВт, гідро циклони з насосами з електроприводом до 500 кВт (асинхронні двигуни), шламові насоси з електроприводом потужністю 600 кВт, живники конвеєри з двигунами постійного струму, конвеєри збирачі з приводом потужністю до 600кВт, двигуни вентиляторів, кранів тощо. Збагачувальна фабрика потужністю до 10 млн т. концентрату на рік складається з 20 технологічних секцій, а отже потужність встановлених на збагачувальній фабриці електричних машин (двигунів) $P_{де} = 12\text{МВт} * 20 = 240\text{МВт}$ і більше.

В цілому електричне господарство (ЕГ) збагачувальної фабрики та траєкторію електроспоживання можливо описати системою залежностей виду:

$$EG = \{P_{max} * K_{поп} * T * D * P_{сеп} * A_{п} * A_{еп}\}, \quad (1)$$

де P_{max} – півгодинний максимум навантаження збагачувальної фабрики; $K_{поп}$ – коефіцієнт попиту; T – річне число годин використання максимального навантаження T_{max} (год); D – кількість встановлених електродвигунів (шт); $P_{сеп}$ – двигунів, в умовних електродвигунів, кВт; $A_{п}$ – електроозброєність праці (МВт·год/люд); $A_{еп}$ – продуктивність праці електротехнічного персоналу (МВт·год/люд).

На рисунках 1а, 1б наведені схеми автоматизованої системи управління електроспоживання першої (а) та другої і третьої (б) стадій збагачення РЗФ підприємства ГМК. Система електроспоживання технологічної секції збагачувальної фабрики адаптована до нестационарних технологічних режимів роботи обладнання і характеризується інваріантністю до типів руд, які надходять на збагачення [1,3]. Траєкторії електроспоживання збагачувальних фабрик в момент T_i відповідає своя траєкторія виробництва концентрату з масовою часткою заліза $\beta_{Feконц} = \{65,8\% + 66,5\%\}$ і параметрами: продуктивності фабрики $Q_{0,056}^{\Phi}$ по готовому класу -0,056 мм розкритого зерна магнетиту; продуктивність збагачувальної фабрики по вхідній (сирій) руді $Q_{вх}(t)$ т/год; продуктивність кульових млинів (т/год) $Q_{1с}^{кмл1}$, $Q_{1с}^{кмл2}$, $Q_{2с}^{кмл3}$, $Q_{3с}^{кмл4}$ – першої, другої і третьої стадій збагачення; продуктивність фабрики по концентрату $Q_{конц}^{\Phi}$; масова частка твердого в зливні класифікатора % $\rho_{вл}$; витрати води, що надходять до млинів першої стадії збагачення $W_{вх}^{кмл1}$, $W_{вх}^{кмл2}$ і в класифікатори першої стадії збагачення $W_{вх}^{кмл1}$, $W_{вх}^{кмл2}$;

масова частка вмісту твердого в зливах гідроциклонів 0710мм другої і третьої стадії збагачення % ρ_2^F, ρ_3^F ; масова частка класу - 0,056 мм в зливні гідроциклонів другої і третьої стадії збагачення β_2^F, β_3^F ; масова частка заліза у промпродуктах третьої стадії збагачення % β_{Fe}^3 ; масова частка магнітного заліза в хвостах першої, другої, третьої стадії збагачення відповідно $\alpha_{XB}^1, \alpha_{XB}^2, \alpha_{XB}^3$; геометрія внутрішньомлинного завантаження кульових млинів першої, другої, третій стадії відповідно $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$.

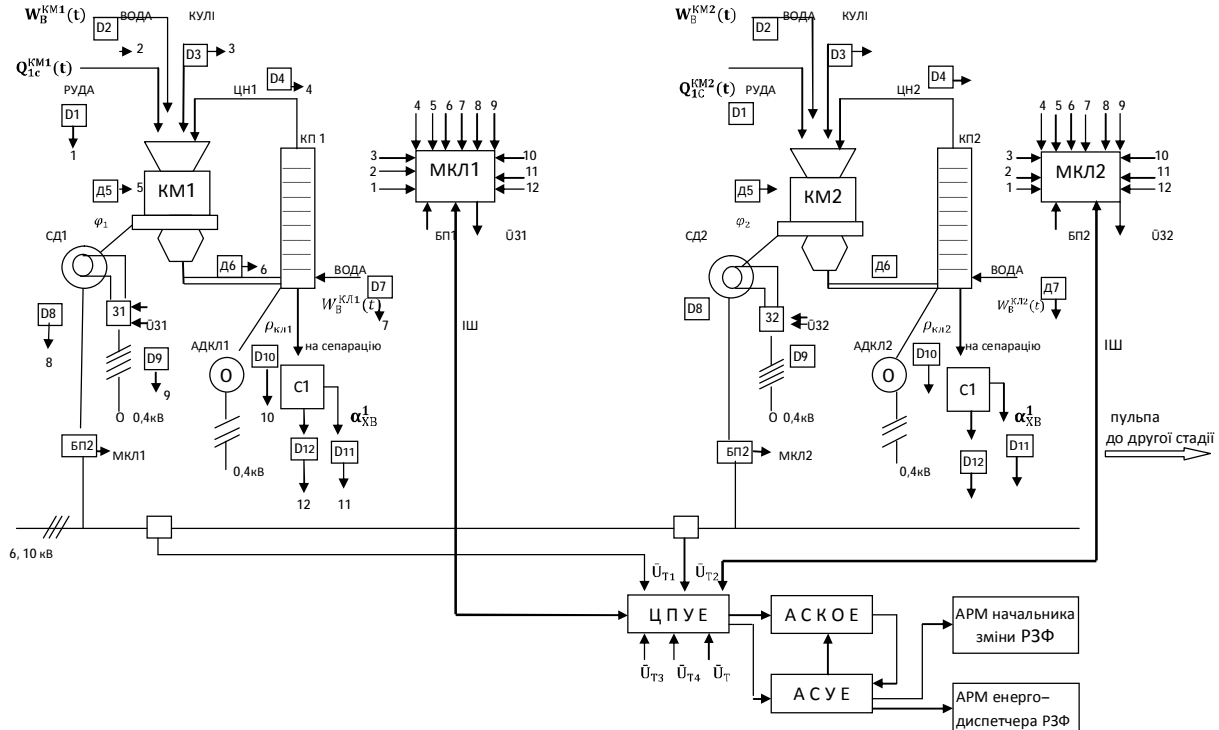


Рис. 1, а. Автоматизована система управління електроспоживанням першої стадії збагачення РЗФ

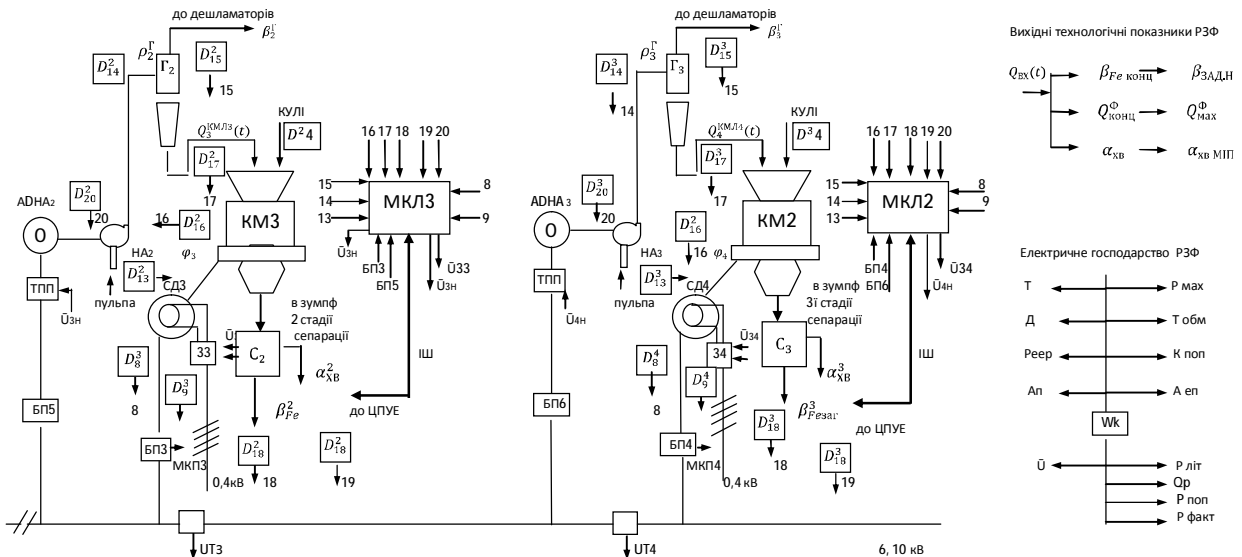


Рис. 1, б. Автоматизована система управління електропостачанням другої і третьої стадії збагачення РЗФ

Вплив коливання якісних властивостей характеристик руди на активну потужність електроприводу класифікаторів і магнітних сепараторів дослідженні проф. С.В. Кочурою [7] та дозволяють опосередковано оцінити витрати електроенергії на виробництво запланованих $Q_{-0,056}^{\Phi}, Q_{\text{конц}}^{\Phi}, \beta_{Fe}^{\text{конц}}, \alpha_{XB}$. При зміні текстурних характеристик сирової руди змінюються і параметри питомих витрат електрики на розкриття зерна заліза до класу -0,056мм [10]. Тоді розрахункові витрати електрики будемо оцінювати по формулі:

$$W_K = Q_{\text{конц}}^{\Phi} * K_{\text{ср}} * (\beta_{-0,056}^K - \beta_{-0,056}^{\text{ср}}) * e^{\Phi_{\text{пит}}} \quad (2)$$

де $K_{\text{ср}}$ – коефіцієнт, який залежить від відсотку вмісту важко збагачувальних (різновидів) сирової руди,

(с.р.) що надходить на збагачення; $(\beta_{-0,056}^K - \beta_{-0,056}^{SP}) = \Delta_{-0,056}$ - приріст готового класу -0,056мм в концентраті в процесах подрібнення, класифікації і збагачення; $e_{\text{пит}}^{\Phi}$ – питомі витрати електрики на виробництво однієї тонни концентрату зі заданими параметрами $\beta_{\text{РФ конц}}$, $\alpha_{\text{кв}}$, і вологи $W_{\text{зад}} < 10\%$.

Якщо енергосистема встановила підприємству ліміт електрики в період обмежень потужності, тоді

$$\max \left[\sum_{i=1}^n \int_0^{t_i+30} P(t) dt \right] \leq \sum_{i=1}^n P_{\text{лім}} = K_{\text{поп}} \cdot P_{\text{ном}} \quad (3)$$

$$t_0 < t \leq t_t - 30$$

де $P(t)$ – активна максимальна потужність фабрики в період обмеження потужності електросистеми, $P_{\text{лім}}$ – розрахункова лімітна потужність; $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність; n – кількість технологічних секцій РЗФ.

$$\text{Розрахована реактивна та повна потужності дорівнюють } Q_p = P_{\text{лім}} \cdot \tan \varphi, S_p = \sqrt{P_{\text{лім}}^2 + Q_p^2}$$

Значення $W_k, P(t), P_{\text{лім}}, Q_p, S_p$ в кожний із періодів прогнозування t_1, t_2, t_3 будуть відповідати експертні значення $Q_{\text{конц}}^{\Phi}, Q_{-0,056}^{\Phi}$ і поточні значення технологічних параметрів $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, Q_{1c}^{\text{кмл1}}, Q_{1c}^{\text{кмл2}}, Q_{2c}^{\text{кмл3}}, Q_{3c}^{\text{кмл4}}, \rho_{\text{квл}}, W_{\text{вк}}^{\text{кмл1}}, W_{\text{вк}}^{\text{кмл2}}, W_{\text{вк}}^{\text{кмл1}}, W_{\text{вк}}^{\text{кмл2}}, \rho_r^2, \rho_r^3, \beta_r^2(-0,056), \beta_r^3(-0,056), \alpha_{\text{кв}}^2, \alpha_{\text{кв}}^3$.

Перераховані вище параметри будемо вважати приблизними множинами, для оцінки яких у подальшому використаємо штучні нейронні мережі (ШНМ) [3, 10], по інформації датчиків $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{20}$. В автоматизованій системі управління електроспоживанням (АСУЕ) нейронні мережі будуть використанні також в задачах обробки інформації, ідентифікації нелінійних систем, прогнозування, фільтрації, адаптованого управління, розпізнавання образів та діагностики.

В АСУЕ виконується автоматизований контроль параметрів витрат електрики по кожній із 20 технологічних секцій. За допомогою системи АСКОЕ шляхом побудови бази даних (БД) бази знань (БЗ) виду: $БЗ_P, БЗ_Q, БЗ_U, \dots$ і бази правил $БП_P, БП_Q, БП_U$ побудовані прогноуюча нейромережева модель і управлінська нейромережева модель відповідно: P – активної потужності; Q – реактивної потужності; U – напруги.

Отже, в АСУЕ виконується моніторинг траєкторії електроспоживання РЗФ T_E^{Φ} по кожній із двадцяти технологічних секцій.

$$\bar{T}_E^{\Phi} = \{\bar{T}_{E_1}^1, \bar{T}_{E_2}^2, \bar{T}_{E_3}^3, \dots, \bar{T}_{E_{20}}^{20}\}, \quad (4)$$

якій буде відповідати траєкторія $\bar{T}_{\beta_{\text{РФ}}}^{\Phi} = \{\bar{T}_{\beta_{\text{РФ}K1}}^1, \bar{T}_{\beta_{\text{РФ}K2}}^2, \bar{T}_{\beta_{\text{РФ}K3}}^3, \dots, \bar{T}_{\beta_{\text{РФ}K20}}^{20}\}$, виробництва заданої якості концентрату, а також траєкторія втрати продукції у випадку аварій в системі енергопостачання зменшення ліміту $P_{\text{лім}}$, віялових відключень $\bar{T}_{\Delta Q_{\text{конц}}}^{\Phi} = \{\bar{T}_{\Delta Q_{\text{конц}1}}^1, \bar{T}_{\Delta Q_{\text{конц}2}}^2, \bar{T}_{\Delta Q_{\text{конц}3}}^3, \dots, \bar{T}_{\Delta Q_{\text{конц}20}}^{20}\}$.

Наведеним вище технологічним траєкторіям будуть відповідати технологічні, фінансові, економічні ризики – втрати прибутку у випадку виникнення проблемних, аномальних, аварійних і після аварійних виробничих ситуацій, які означені змінами текстурних характеристик руди, що надходить на збагачення, станом технологічного обладнання та електрообладнання і відповідно станом електропостачання РЗФ. Таким чином, нормальній ситуації $\{\bar{S}_E^H\}$ буде відповідати своя траєкторія електроспоживання $\{\bar{T}_E^{\Phi}\}$, траєкторія виробництва заданої якості концентрату $\{\bar{T}_{\beta_{\text{РФ}}}^{\Phi}\}$, траєкторія мінімізації втрати продукції $\{\bar{T}_{\Delta Q_{\text{конц}}}^{\Phi}\}$ і мінімальні ризики не виконання планових показників щодо зниження прибутку $\bar{\Pi}_{\Phi}^H \rightarrow \bar{\Pi}_{\Phi}^H \text{ зад. зн.}$

У випадку проблемних, аномальних, аварійних і після аварійних ситуацій в енергосистемі АСУЕ повинна видати рекомендації оперативному персоналу (АРМ начальнику зміни РЗФ, АРМ енергодиспетчера РЗФ), щодо прийняття рішень, виведення електроспоживання на траєкторію $\{\bar{T}_E^{\Phi}\}$ шляхом оптимізації параметрів: $P_1(t), P_2(t), \dots, Q_{1P}(t), Q_{2P}(t), Q_{3P}(t), \dots, Q_{1\text{вк}}(t), Q_{2\text{вк}}(t), \dots, Q_{1\text{конц}}^{\Phi}, Q_{2\text{конц}}^{\Phi}$ по інформації датчиків як електричних так і технологічних змінних. Крім цього ряд параметрів, що визначають, наприклад, текстурні характеристики сирової руди, параметри геометрії внутрішньомлинного завантаження кульових млинів $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, параметри розкриття магнетиту до класу -0,056 мм. (масової частки заліза в промпродукті третьої стадії збагачення), параметри $\beta_{\text{РФ}}^3, \alpha_{\text{кв}}^1, \alpha_{\text{кв}}^2, \alpha_{\text{кв}}^3$, будемо оцінювати за допомогою штучної п'ятишарової нейронної мережі, яка навчається за допомогою процедури зворотного розповсюдження [10].

Для прогнозування реактивного навантаження $Q_P(t)$ РЗФ нами використана тришарова ШНМ, у вхідному шарі якої знаходяться 4 нейрони, в середньому 3, а у вихідному 1 нейрон, тобто зі структурою 4-3-

1. Для прогнозування активних навантажень $P_1(t), P_2(t), \dots$ в роботі використана архітектура 5-3-1 нейромережі. ШНМ за допомогою алгоритму зворотного розповсюдження [1]. Управлінська нейромережева модель управління електроспоживанням побудована у вигляді радіально базисної мережі. Така модель має два шари оброблення інформації з n -входами і m -виходами та виконує нелінійне перетворення виду:

$$Y_j = F_j(x) = w_{j0} + \sum_{i=1}^n w_{ij} \varphi_i(x) = w_{ij}^T \varphi(x), \quad (5)$$

де Y_j - j -й вихідний сигнал мережі ($j = 1, 2, \dots, m$), $F_j(x)$ – нелінійне відображення вхідного вектору сигналу з датчиків $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ у j -й вихід; w_{ij} – налагоджені синаптичні вагові параметри; $\varphi_i(x)$ – радіально-базисні функції, які представляють собою парzenовські ядра [10], виду $w_j = (w_{j0}, w_{j1}, \dots, w_{jn})^T$, $\varphi(x) = (1, \varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_n(x))^T$.

З метою виключення технологічного перевищення активної потужності підприємством $P_{ном}(t)$ в період $T_{обн}$ і відповідно активної потужності $P_{обн}$ встановленого енергосистемою, через фіксовані проміжки часу t_1, t_2, t_3, \dots . Виконується контроль значення цієї потужності системою АСКОЕ енергоменеджменту підприємств ГМК [2].

Кількісною мірою оцінки якості виконання прогнозу електричних навантажень прийнято максимальне значення відносної середньоквадратичної похибки:

$$\delta_{max} = \max \cdot \frac{P_i - P_{прі}}{P t^*} \quad (6)$$

$$t^* \in [t, t + t^*]$$

де P_i і $P_{прі}$, $P t^*$ – дійсні і прогнозні значення навантажень. Для забезпечення економічно вигідних режимів функціонування збагачувального виробництва енергосистема встановлює обмеження на рівень реактивної потужності споживачів електроенергії: максимальне і мінімальне значення реактивної потужності. Ці обмеження звичайно диференціюються в часі доби (ϵ функціями поточного часу). Напруга на затискачах електроприймачів СД КМ $U_{T_1}, U_{T_2}, U_{T_3}, U_{T_4}$ при цьому не повинна виходити за допустимі межі: максимальне і мінімальне значення, які встановлені нормативними документами (коливання напруги на електроприймачах допустимо в межах $\pm 5\%$ або від -5% до $+10\%$ від номінальної напруги) [4].

Підтримання напруги в межах установлених норм дозволяє мінімізувати втрати активної потужності в асинхронних двигунах (АД) класифікаторів, сепараторів і насосних агрегатів гідроциклонів, тобто зменшити додаткове споживання ними реактивної потужності. Це суттєво, так як при підвищенні напруги на 1% реактивна потужність, яку споживає АД, збільшується на 3% [4].

Ось чому в системі управління гідро циклон-кульовий млин другої і третьої стадій збагачення в роботі [9] запропоновано використовувати ТПЧ для управління АД насосними агрегатами типу 8ГР-8 гідроциклонів другої та третьої стадій потужністю (150-500)кВт. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність керування стадіями по виходу класу $-0,0056$ мм шляхом вибору раціональних параметрів $\varphi_3, \varphi_4, Q_{2c}^{КМЛ3}, Q_{3c}^{КМЛ4}, \beta_2^1, \beta_3^1, \beta_{F_{2322}}^3, \alpha_{хв}^2, \alpha_{хв}^3$ та відповідно використати СД кульових млинів першої другої і третьої стадій для генерування реактивної потужності $Q_{2P}(t), Q_{3P}(t)$. Ці функції в АСУЕ виконують мікроконтролери МКЛ 1,2,3,4, інформація з яких через інформаційну шину (ІШ) надходить до центрального нейропроцесора управління електроспоживанням (ЦПУЕ) і відповідно систем АСКОЕ і АСУЕ, АРМ-начальника зміни й енергодиспетчера РЗФ.

У нашому випадку це дворівнева система управління, в якій інформація з датчиків Д1-Д12 першої стадії збагачення й завантаження кульових млинів КМЛ1, КМЛ2, з датчиків $D_{13}^2 - D_{20}^2$, другої стадії збагачення з кульовим млином КМЛ3, з датчиків $D_{13}^3 - D_{20}^3$ третьої стадії збагачення з кульовим млином КМЛ4, електроприлади технологічних апаратів, виконуючі механізми утворюють контролерний (нижній) рівень управління технологічним процесом і електроспоживання технологічних секцій РЗФ.

Датчики $D_{13}^1 - D_{20}^3$ надають інформацію МКЛ, які виконують наступні функції:

- збору і оброблення інформації про параметри $Q_{1c}^{КМЛ1}(t), W_{вх}^{КМЛ1}, \varphi_1, \dots, \varphi_2, \alpha_{хв}$ технологічного процесу;
- управління електроспоживанням СД КМЛ, АД НА, виконавчими механізмами живильників завантаження кульових млинів КМЛ1, КМЛ2, витрати води у кульові млини першої стадії, класифікатори КЛ1, КЛ2, рівня пульпи в зумпфах тощо;
- рішення задач автоматичного логічного керування стадіями визначення типів руди, перевантаження (аварійних режимів) млинів першої стадії тощо.

Усі контролери МКЛ нижнього рівня повинні функціонувати у режимі жорсткого реального часу, контролюючи керовані параметри $\bar{U}_{31}, \bar{U}_{32}, \bar{U}_{33}$ та $\bar{U}_{3H}, \bar{U}_{4H}$.

Інформація з локальних контролерів нижнього рівня по інформаційній шині (ІШ) надходить до ЦПУЕ, який виконує наступні функції:

- обробку даних включаючи їх синхронізацію;
- підтримання єдиного часу в системі;

- синхронізацію роботи стадій збагачення;
- обмін інформацією між локальними МКЛ контролерами і верхнім рівнем;
- робота у автономному режимі при виникненні аварійних ситуацій в системі електроспоживання.

Верхній рівень управління електроспоживанням РЗФ і виробництва концентрату з АСКОВЕ і АСУЕ утворює диспетчерський пункт і представляє АРМ – начальника зміни і АРМ – енергодиспетчера.

Основною диспетчерського пункту є мнемо-схема (відео-стеля), на якій у вигляді полос, контурів та символів зображуються не тільки елементи системи електроспоживання РЗФ, технологічного процесу збагачення, але і їх взаємозв'язки та комунікації у динаміці. Все це створює умовну картину (схеми) енергетичного і технологічного процесу РЗФ. Крім цього АСУЕ РЗФ через інформаційні канали зв'язку MES і ERP утворюють інтелектуальну систему управління електроспоживанням ПАТ [1].

Нейропроцесор ЦПУЕ виконує розпізнавання параметрів $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, оцінює $\bar{U}_{T1}, \bar{U}_{T2}, \bar{U}_{T3}, \bar{U}_{T4}$ та визначає екстремум функції ЕК (економічного критерію) вигоди від генерування реактивної потужності синхронними двигунами електроприводів кульових млинів фабрики.

$$EK = EP_Q - EPP_{m_t} = C_Q - C_{P_{m_t}} = f(\alpha_{opt}) \quad (7)$$

де EP_Q - економічний показник виробництва (споживання) реактивної потужності; EPP_{m_t} - економічний показник витрат активної потужності; C_Q - величина (ціна) сплати за генеровану потужність за час t ; $C_{P_{m_t}}$ - величина сплати за витрачену на це активну потужність. Чинник ЕК функціонального також залежить від α_{opt} - оптимального кута, який відповідає оптимальному режиму сплати за спожиту активну потужність, що витрачається на генерацію реактивної потужності на затискачах синхронних двигунів КМЛ1, КМЛ2, КМЛ3, КМЛ4. Тобто умовою отримання такого режиму буде прогнозування ЦПУЕ по технологічним параметрам стану електроспоживання кожною стадією $P_1, P_2, P_3, P_4, Q_{P_1}, Q_{P_2}, Q_{P_3}, Q_{P_4}$ при $\bar{U}_{T1}, \bar{U}_{T2}, \dots, \bar{U}_{T4} = const$ і $e_{пит}^{\Phi} \rightarrow e_{пит\text{взд}}^{\Phi}$. За допомогою навчених НМ ЦПУЕ по параметрам:

$$\{\varphi_1, Q_{1c}^{KML1}(t), \rho_{KML1}, \text{ЦН1}\} \rightarrow \text{оцінює } \alpha_{opt} \text{ СД1}$$

$$\{\varphi_2, Q_{1c}^{KML2}(t), \rho_{KML2}, \text{ЦН2}\} \rightarrow \text{оцінює } \alpha_{opt} \text{ СД2}$$

$$\{\varphi_3, \rho_3^f, Q_{3c}^{KML3}(t), \beta_{Fe}^2\} \rightarrow \text{оцінює } \alpha_{opt} \text{ СД3}$$

$$\{\varphi_4, \rho_4^f, Q_{4c}^{KML4}(t), \beta_{Fe}^3\} \rightarrow \text{оцінює } \alpha_{opt} \text{ СД4.}$$

Оптимальні уставки збудників СД кульових млинів визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} \bar{U}_{31}[n+1] &= \bar{U}_{31}[n] + K1(\bar{U}_{Bmax} - \bar{U}_{B0}) e^{-\frac{t}{\tau_{B1}}} \\ \bar{U}_{32}[n+1] &= \bar{U}_{32}[n] + K2(\bar{U}_{Bmax} - \bar{U}_{B0}) e^{-\frac{t}{\tau_{B2}}} \\ \bar{U}_{33}[n+1] &= \bar{U}_{33}[n] + K3(\bar{U}_{Bmax} - \bar{U}_{B0}) e^{-\frac{t}{\tau_{B3}}} \\ \bar{U}_{34}[n+1] &= \bar{U}_{34}[n] + K4(\bar{U}_{Bmax} - \bar{U}_{B0}) e^{-\frac{t}{\tau_{B4}}}, \end{aligned} \quad (8)$$

де \bar{U}_{Bmax} - максимальна напруга, яка підведена до обмотки збудника; $\bar{U}_{31}, \bar{U}_{32}, \dots$ - напруга збудника у номінальному режимі; $\tau_{B1}, \tau_{B2}, \tau_{B3}, \tau_{B4}$ - постійні часу збудників СД кульових млинів; $K1, K2, K3, K4$, - коефіцієнти, які залежать від ступені заповнення кульових млинів $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$.

Адаптивні системи управління збудниками синхронних двигунів кульових млинів побудовані за допомогою алгоритмів імпульсного безпощукового керування [3].

ЦПУЕ, одержуючи прогнозні значення $P_1(t), P_2(t), P_3(t), P_4(t)$, оцінює траєкторію електропостачання РЗФ в моменти часу доби «ніч», «напівпік» й «пік» і у випадку відхилення $P_{факт}$ від $P_{лім}$ останній відпрацьовує підпрограму «збитки». Для цього в пам'ять ЦП внесена таблиця пріоритетів електроспоживачів РЗФ, диференційованих за категоріями «збитки», щодо виробництва концентрату $Q_{конц}^{\Phi}$. При цьому ЦП відпрацьовує наступне правило:

«Якщо $P_{факт} \gg P_{лім-пік}$ а $\beta_{Fe}^{\text{конц-пік}} \rightarrow \beta_{взд}, Q_{конц}^{\Phi}$ і $T_{\Delta Q_{конц-пік}}^{\Phi}$ відповідає заданому значенню, то необхідно відключити СД кульових млинів першої стадії збагачення на період $t_{лім-пік}$ - час періоду обмеженні потужності електроспоживання енергосистемою підприємства ПАТ «ДТЕК ДНПРООБЛЕНЕРГО».

У нашому випадку одночасно потужність РЗФ енергоспоживання буде зменшена на 100 МВт, але АСУЕ-АСУ технологічних апаратів другої, третьої стадій збагачення будуть відпрацьовувати траєкторію виробництва концентрату, забезпечуючи виконання планових показників виробництва продукції. Для періоду «напівпік» розроблено наступне правило:

«Якщо $P_{факт} \gg P_{лім-напівпік}$ а $\beta_{Fe}^{\text{конц-напівпік}} \rightarrow \beta_{взд}, Q_{конц}^{\Phi}$ і $T_{\Delta Q_{конц-напівпік}}^{\Phi}$ відповідає

заданому значенню, то необхідно відключити лише один СД кульового млина КМЛІ кожної із 20-ти секцій РЗФ.»

У цьому випадку одночасно енерго потужність РЗФ буде зменшена на 50 МВт, але АСУЕ-АСУ технологічних апаратів першої, другої та третьої стадії збагачення будуть відпрацьовувати задані планові показники виробництва продукції для періоду «напівпік».

Для періоду «ніч» розроблено наступне правило:

«Якщо $P_{\text{факт}} = P_{\text{лім-ніч}}$ а $\beta_{P_{\text{в конц-ніч}}} \rightarrow \beta_{\text{зад}}, Q_{\text{конц}}^{\Phi}$ і $T_{\Delta Q_{\text{конц-ніч}}}^{\Phi}$ відповідає заданому значенню, то необхідно максимізувати виробництво концентрату, шляхом постійного моніторингу чинників $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ та $\alpha_{\text{хв}}$ »

У цьому випадку АСКОЕ-АСУЕ відпрацьовують задані значення траєкторії електроспоживання РЗФ $T_{\text{в}}^{\Phi}$, максимізуючи чинники $Q_{\text{конц}}^{\Phi}$ і мінімізуючи $\alpha_{\text{хв міні}}$ і відповідно $\epsilon_{\text{питт зад}}^{\Phi} \rightarrow \epsilon_{\text{питт міні}}^{\Phi}$, а отже $\alpha_{\text{опт}}^{\Phi}$ СД1, $\alpha_{\text{опт}}^{\Phi}$ СД2, $\alpha_{\text{опт}}^{\Phi}$ СД3, $\alpha_{\text{опт}}^{\Phi}$ СД4 та відповідно мінімальні витрати електрики W_k .

Висновки

Розроблено автоматизовану систему управління електроспоживанням рудозбагачувальної фабрики підприємство гірничо-металургійного комплексу в періоди обмежень енергосистемою потужностей по активному і реактивному навантаженню, система дозволяє зменшити втрати виробництва продукції (концентрату) в періоди «пік», «напівпік» та максимізувати продуктивність фабрики в період «ніч», виконавши «точно у термін» замовлення фабрики огрудкування підприємства.

Література

1. Хорольський В.П. Багаторівнева інтелектуальна система оптимізації електроспоживанням гірничо-збагачувальних підприємств / В.П. Хорольський, Д.В. Хорольський, К.Г.Тіторенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – №2. – С.188–198.
2. Хорольський В.П. Інвестиційний механізм регіональної політики енергозбереження на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України / В.П. Хорольський, Д.В.Хорольський // Економіка: проблеми теорії та проблеми; Зб. Наук праць. Дніпропетровськ: ДНУ. – 2005. – Вип.200, том 4. – С.911–925.
3. Хорольський В.П. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу: монографія / В.П. Хорольський. – Дніпропетровськ: «Січ», 2008. – 448с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений / Б.И. Кудрин. – М.: Интернет Инжиниринг, 2007. – 672с.
5. Авилов-Карнаухов Б.Н. Метод определения экономических режимов потребления электроэнергии на рудообогатительных фабриках / Б.Н. Авилов-Карнаухов, Г.Г. Зибровский // Промышленная электроника. – 1979. – №4. – С. 3–4.
6. Корнієнко В.І. Автоматизовані системи оптимального керування процесами крупного дроблення та самоздрібнювання руд: автореф. дис. докт. тех. наук / В.І. Корнієнко; ДВНЗ «НГУ». – Дніпропетровськ, 2010. – 35с.
7. Кочура Е.В. Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энергосбережения: дис. докт. техн. наук / Е.В. Кочура. – Днепропетровск, 1996. – 331с.
8. Новицкий И.В. Автоматическая оптимизация процесса самоизмельчения руд в барабанных мельниках: дис. докт. техн. наук / И.В. Новицкий. – Днепропетровск, 1993. – 360с.
9. Хорольський В.П. Адаптивні системи многоуровневого управління технологічними процесами переробки руд: дис. докт. техн. наук / В.П. Хорольський; ЛГУ: – Ленинград, 1989. – 412 с.
10. Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 784 с.

Рецензія/Peer review : 8.9.2015 р. Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н. С.О.Жуков

В.Д. КОСЕНКОВ

Хмельницкий национальный университет

Д.А. ИВЛЕВ, А.В. ЯКОВЛЕВ, Т.А. ЖЕЛИБА

Одесский национальный политехнический университет

АНАЛИЗ СТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ В МАШИНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА ИНДУКТОРНОГО ТИПА

Рассмотрены результаты расчета стационарного теплового поля машины постоянного тока индукторного типа методом конечных элементов. Проведен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных. Показано, что благодаря новым конструктивным решениям в такой машине значительно улучшен теплоотвод, что позволяет увеличить мощность двигателя при неизменной геометрии.

Ключевые слова: тепловое поле, машина постоянного тока, метод конечных элементов.

V.D. KOSENKOV

Khmelnytsky National University

D.A. IVLIEV, O.V. YAKOVLEV, T.A. ZHELIBA

Odessa National Polytechnic University

THE ANALYSIS OF STATIONARY THERMAL FIELD IN THE DIRECT-CURRENT MOTOR INDUCTOR TYPE

The results of the calculation of stationary thermal field in the direct-current motor inductor type were considered by the finite elements method. One realized the comparative analysis of experimental and calculated data. It is shown that because of the new constructive solutions has been improved heat dissipation in such electrical machine the significantly, what allows to increase the power of the engine at a constant geometry.

Keywords: thermal field, direct-current motor, finite elements method, magnetic field.

Постановка проблемы

Как известно [1], масса электрической машины зависит от принятых значений электромагнитных нагрузок, допустимость которых определяется по результатам теплового расчета. Обычно эти значения принимаются на основании рекомендаций, полученных из опыта проектирования. Однако, применение такого подхода при рассмотрении новых конструктивных схем электрических машин не всегда оправданно, особенно если в новой конструкции существенно улучшены условия теплоотвода. Примером такой конструкции может служить торцевой двигатель постоянного тока индукторного типа (ДПТИТ), разработанный в Одесском национальном политехническом университете [2] (рис.1 а).

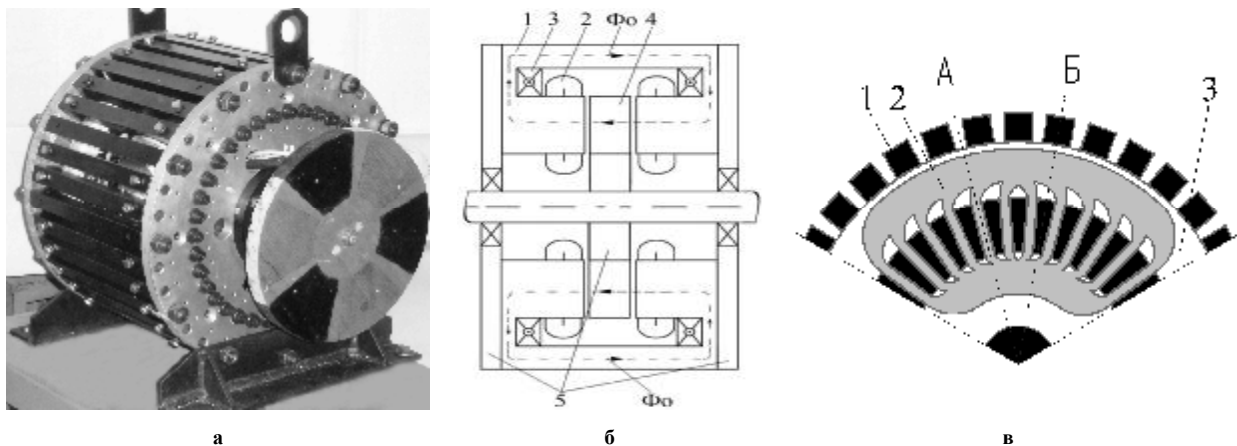


Рис. 1. Торцевой двигатель постоянного тока индукторного типа:
а-внешний вид; б - продольный разрез; в – статор (два полюсных деления)

Являясь электрической машиной индукторного типа, ДПТИТ использует только 50% активной поверхности статора в преобразовании энергии. Это означает, что при всех прочих равных условиях масса обмотки якоря ДПТИТ будет всегда больше массы обмотки якоря классического двигателя постоянного тока. Однако рост массы обмотки якоря уравнивается отсутствием у ДПТИТ компенсационной обмотки и обмотки добавочных полюсов.

Магнитная система ДПТИТ (рис.1 б, в) не имеет общего ярма и состоит из ряда магнитно-несвязанных зубцов П – образной формы 1, между которыми уложены секции обмотки якоря 2, обмоток возбуждения 3, создающих основной магнитный поток Φ_0 , безобмоточных полюсов 4 и крепежных немагнитных дисков 5.

В такой конструкции паз электрической машины открыт с обеих сторон, что позволяет:

- резко ослабить поле поперечной реакции якоря путем снижения магнитной проводимости

магнитопровода в поперечном направлении и довести перегрузочную способность по току $K_I = I_{don} / I_n$ до 5÷7, отказавшись от применения компенсационной обмотки [3];

- существенно улучшить условия теплоотвода через конструктивные зазоры (пазы) между зубцами П – образной формы, обеспечив непосредственный контакт внешней среды с активными частями ДПТИТ.

Задачей данной работы является расчет температурного поля элементов конструкции ДПТИТ, сравнение полученных результатов с экспериментальными данными и выработка рекомендаций по повышению значений электромагнитных нагрузок в данной конструкции.

Основные результаты

Расчет стационарного теплового поля производился в плоскопараллельной области методом конечных элементов (МКЭ) с помощью программного пакета ELCUT версии 4.1. Задача рассматривалась в декартовой системе координат x, y, z в плоскости xy при условии постоянства физических свойств и источников поля по оси z . Отказ от рассмотрения задачи в осесимметричной (цилиндрической) системе координат r, θ, z связан с необходимостью одновременного рассмотрения двух характерных плоскостей ДПТИТ, что невозможно в осесимметричной системе координат, где расчетная область ограничена только положительной полуплоскостью $r > 0$. В расчете рассматриваются две полуплоскости: А (рис.1 в), проходящая через паз, где есть непосредственный контакт внешней среды с обмотками, и Б (рис.1 в), проходящая через зубец П – образной формы. В расчетной модели принято следующее допущение: полуплоскость А повернута на величину половины зубцового деления таким образом, чтобы полуплоскости А и Б находились в одной расчетной плоскости. Основой расчета теплового поля является уравнение теплопроводности, которое в декартовой системе координат имеет вид [4]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(I_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(I_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = q, \quad (1)$$

где T – искомая функция распределения температуры;
 λ_x, λ_y – коэффициенты теплопроводности в текущей точке расчетной области в направлении осей координат x и y ;

q – объемная плотность источников нагрева.

С уравнением (1) связаны три вида граничных условий:

– граничное условие первого рода, определяющее распределение температуры на поверхности тела,
 $T|_x = T^*$, (2)

где $T|_x$ – температура на границе расчетной области;
 T^* – известное значение температуры на границе расчетной области;

– граничное условие второго рода, определяющее значение теплового потока на поверхности тела,

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0, \quad (3)$$

где n – нормаль к внешней теплоотдающей поверхности;

– граничное условие третьего рода, определяющее конвективный обмен между поверхностью тела и окружающей средой

$$I_x \frac{\partial T}{\partial x} e_x + I_y \frac{\partial T}{\partial y} e_y - a(T - T_{oc}) = 0, \quad (4)$$

где e_x, e_y – направляющие косинусы нормали теплоотдающей поверхности по отношению к осям координат;

a – коэффициент теплоотдачи конвекцией в окружающую среду;

T_{oc} – температура окружающей среды.

В результате решения уравнения (1) с граничными условиями (2)-(4) определяется искомое температурное поле в установившемся тепловом режиме.

Расчет температурного поля проводился для сравнения полученных результатов с данными, полученными в ходе эксперимента. Экспериментальные измерения проводились с момента пуска двигателя до выхода его в установившийся тепловой режим, при следующих параметрах работы ДПТИТ: ток обмотки возбуждения $I_{ov} = 4,6$ А; ток обмотки якоря $I_a = 18$ А; скорость вращения ротора $n = 450$ об/мин. Эксперимент проводился в течение 100 минут, при этом температура установилась через 80 минут с момента начала эксперимента.

Создание расчетной модели проводилось по рекомендациям, изложенным в [5], согласно которым, описывая границы внутренней газовой среды в электрической машине, можно принять, что воздух вне зависимости от того, есть ли внутри какие-либо перемешивающие устройства или нет, имеет во всем объеме, исключая очень тонкий пограничный слой, одну и ту же температуру. Зная коэффициенты теплоотдачи $a_1 \dots a_n$, в пределах которых можно считать коэффициент теплоотдачи постоянным, в расчет вводятся условные среды, Boundary Air (BA) и Thermal Superconductivity (TSC), что связано с невозможностью задать температуру на границе внутренней газовой среды до начала расчета, так как эта

величина еще не определена[5]. Эти среды характеризуются следующими значениями теплопроводности:

$$\lambda_{BAi} = \alpha_i \cdot \delta \quad (i=1..n) \text{ Вт/(К}\cdot\text{м)},$$

$$\lambda_{TSC} = 10^5 \text{ Вт/(К}\cdot\text{м)},$$

где δ - очень малое расстояние по сравнению с размерами описываемых областей.

Для проведения расчета были приняты следующие коэффициенты и значения:

- коэффициент теплоотдачи поверхности охлаждения $\alpha = 10 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, согласно рекомендациям [6] для естественного охлаждения;

- температура окружающей среды $T_o = 21^\circ\text{C}$ (294 К);

- теплопроводность стали $T_{ст} = 55 \text{ Вт/(К}\cdot\text{м)}$;

- теплопроводность меди $T_m = 64 \text{ Вт/(К}\cdot\text{м)}$;

- теплопроводность $BA = 0,0075 \text{ Вт/(К}\cdot\text{м)}$;

- теплопроводность $TSC = 100000 \text{ Вт/(К}\cdot\text{м)}$;

- объемная плотность тепловыделения обмотки якоря, рассчитанная исходя из величины электрических потерь во время эксперимента $Q_{оя} = 45497 \text{ Вт/м}^3$;

- объемная плотность тепловыделения обмотки возбуждения, рассчитанная исходя из величины электрических потерь во время эксперимента $Q_{ов} = 95010 \text{ Вт/м}^3$;

Для расчета модели программой ELCUT была сгенерирована сетка конечных элементов, содержащая 482017 узлов. Полученные результаты распределения векторов теплового потока, изотерм, теплового потока и температуры отражены на (рис.2 а, б, в, г).

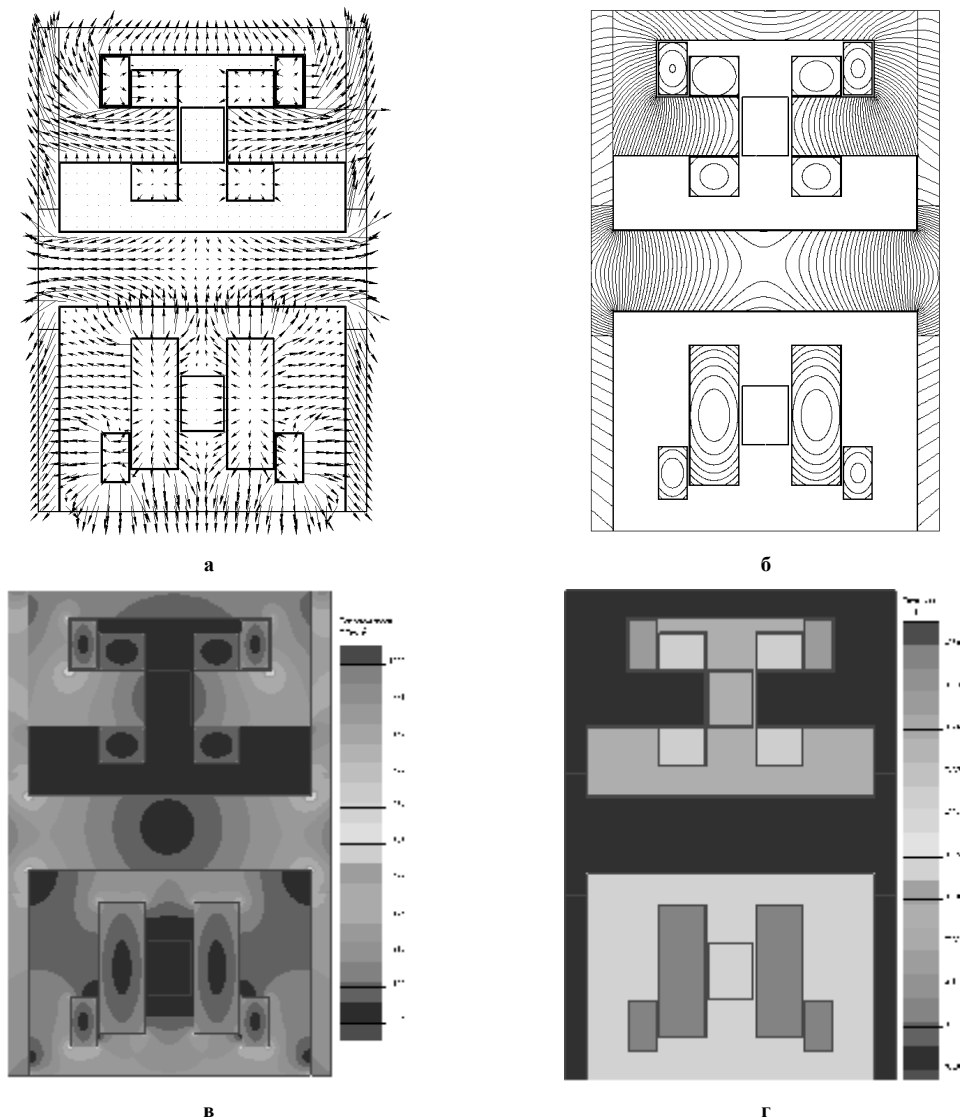


Рис. 2. Результаты расчета стационарного теплового поля ДПТИТ:
 а – распределение векторов теплового потока (масштаб 0,01 шаг сетки 8мм);
 б – распределение изотерм (масштаб 0,01 К); в – распределение теплового потока;
 г – распределение температуры

В таблице 1 приведены сравнительные данные по расчетному и экспериментальному определению установившихся температур в ДПТИТ.

Таблица 1

Сравнительные данные по расчетному и экспериментальному определению установившихся температур в ДПТИТ

Позиция	Абсолютные значения		
	по методу конечных элементов	по эксперименту, °С	погрешность, %
Обмотка возбуждения (верхняя полуплоскость)	(328,89 К) 55,74°С	56,5	1,4
Лобовая часть секции (верхняя полуплоскость)	(322,88 К) 49,73°С	50,1	0,8
Обмотка якоря (нижняя полуплоскость)	(330,91 К) 57,76°С	55	4,8
Обмотка возбуждения (нижняя полуплоскость)	(331,15 К) 58°С		

Как видно из таблицы 1, результаты расчета стационарного теплового поля с использованием пакета ELCUT и физического эксперимента достаточно близки, что позволяет использовать данную программу для моделирования теплового поля в ДПТИТ. В частности, результаты сравнения ДПТИТ и аналога (табл.2), в качестве которого рассматривается классическая машина постоянного тока (МПТ) [1], отражены в таблице 3.

Таблица 2

Сравнение двигателя постоянного тока индукторного типа и классической машины постоянного тока

Параметр	Единицы измерения	ДПТИТ	МПТ
Номинальная мощность P_n	кВт	5	5,5
Номинальное напряжение U_n	в	220	220
Номинальные обороты n_n	об/мин	1500	1500
Ток якоря I_a	А	25,78	29,3
Потери в обмотке якоря $P_{оя}$	Вт	361	305
Потери в обмотке возбуждения $P_{ов}$	Вт	270	254
Потери в обмотке добавочных полюсов $P_{д}$	Вт	-	165
Потери в переходном контакте щеток $P_{к.щ}$	Вт	52	59
Потери в стали $P_{ст}$	Вт	214	117
Вентиляционные потери $P_{вент}$	Вт	-	169
Потери на трение подшипников $P_{т.п}$	Вт	20	20
Потери на трение щеток о коллектор $P_{т.щ}$	Вт	16	49
Добавочные потери $P_{доб}$	Вт	27	67
Общая масса меди $M_{мд}$	Кг	15,72	17,59
Общая масса активной стали $M_{ст}$	Кг	51,6	56,78
Тепловой фактор AJ	А/см · А/мм ²	800	749
Класс нагревостойкости изоляции		F	F
Способ охлаждения		Естественное	Самовентиляция
Коэффициент полезного действия η	%	82	82

Таблица 3

Результаты расчета стационарного теплового поля ДПТИТ и классической МПТ для P = 5,5 кВт

Позиция	Среднее превышение температуры над температурой охлаждающего воздуха		
	ДПТИТ, °С	Аналог, °С	Различие, %
Обмотка возбуждения (нижняя полуплоскость)	50	72,9	31,5
Обмотка якоря (нижняя полуплоскость)	61,96	79,4	22

Выводы

Анализируя полученные данные, можно отметить, что, несмотря на естественное охлаждение у ДПТИТ и самовентиляцию у аналога, в данном случае в ДПТИТ можно использовать более дешёвую изоляцию класса В с предельной допустимой температурой превышения над охлаждающим воздухом 80°С.

Кроме этого, как показали расчеты, существует возможность увеличения мощности двигателя при неизменной геометрии путем увеличения плотности тока и линейной токовой нагрузки, то есть фактора нагрева 4.

Сравнительные данные по увеличению мощности ДПТИТ

Параметры	Среднее превышение температуры над температурой охлаждающего воздуха		
	5 кВт	6 кВт	7,5 кВт
Тепловой фактор AJ ($A/cm \cdot A/mm^2$)	800	1400	1736
Обмотка возбуждения (нижняя полуплоскость)	50 °C	59,55 °C	72,13 °C
Обмотка якоря (нижняя полуплоскость)	61,96 °C	80,09 °C	104,28 °C

Как видно из таблицы 4, превышение температуры обмотки якоря в случае 7,5 кВт, равное 104,28 °C, превышает предельно допустимую температуру для изоляции класса F в 100°C. Однако переход от естественного охлаждения к самовентиляции позволит понизить температуру до допустимой величины.

Таким образом, конструкция ДПТИТ способна эффективно отводить тепло, что имеет особое значение при ослаблении поля поперечной реакции якоря и доведении перегрузочной способности по току до 5-7 кратной.

Литература

1. Гольдберг О. Д. Проектирование электрических машин/ О. Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко. – М.: Высшая школа, 1984. – 431 с.
2. Патент України № 78249, МПК(2006), НО2К291/06 Безконтактний двигун постійного струму з дисковим ротором/ В.В. Булгар, В.В. Гололобов, А.Д. Івлєв, О.В. Яковлєв// - 20040604361, заявл.07.06.2004, опубл.15.03.2007. – Бюл. №3.
3. Косенков В.Д. Ограничение реакции якоря в машинах постоянного тока индукторного типа/ В.Д. Косенков, Д.А. Івлєв, А.В. Яковлєв// Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький. – 2015. – Вып.3(225) – С. 224–227.
4. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 4.1. Руководство пользователя. – Санкт-Петербург: Производственный кооператив ТОР, 2000. – 130с.
5. Гандшу В.М. / Особенности расчета нагревания электромагнитных устройств с помощью пакета программ ELCUT [Электронный ресурс] / Гандшу В.М. – Режим доступа: <http://elcut.ru/articles/gandshou/>.
6. Игнатов В.А. Торцевые асинхронные электродвигатели интегрального изготовления/ В.А.Игнатов, К.Я. Вильданов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 303 с.

Рецензія/Peer review : 7.10.2015 р.

Надрукована/Printed :1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 677.11.021

К.М. КЛЕВЦОВ

Херсонський національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕКОРТИКАЦІЇ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ

Представлена робота спрямована на створення нової теорії та обладнання для роз'єднання технічних комплексів волокна, що відкриває можливість оптимізації механічної дії на всіх технологічних операціях при його переробці, розробки принципово нових процесів механічної обробки і в кінцевому підсумку прогнозування якості з урахуванням функціонального використання готової продукції.

Ключові слова: елементарні луб'яні волокна, декортикація, режими обробки.

K.N. KLEVTSOV

Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

DEFINITIONS OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS DECORTICATION BAST RAW MATERIALS

This work aims to create a new theory of separation equipment for fiber complexes, which opens the possibility of optimizing the mechanical action on all technological operations at its processing, development of innovative machining processes and ultimately forecasting quality based functional use of the finished product.

Keywords: elementary bast fiber decortication, modes of treatment.

Вступ

Багато дослідників, що займаються проблемами руйнування волокна, ниток і тканин, відзначають складність моделювання реальних технологічних процесів з урахуванням реальної будови нитки і імовірнісними фізико-механічними і геометричними її властивостями. Особливу складність представляє

моделювання луб'яного технічного волокна внаслідок складної структури його будови, великого розкиду фізико-механічних і геометричних властивостей, геометричній нелінійності при впливі механічних факторів, відсутністю законів розподілу випадкових величин. На сьогоднішній день у текстильному матеріалознавстві є дані про будову луб'яних волокон і їх механічні характеристики. Проте ці дані носять описовий, словесний характер, що не дозволяє моделювати процеси їх розволокнення у повному обсязі.

Тому в умовах Херсонського національного технічного університету в період з 2000 по 2012 роки були проведені комплексні теоретичні та експериментальні дослідження впливу процесів руйнування і дроблення луб'яних волокон для створення нових методів проектування і прогнозування властивостей і показників якості текстильної продукції.

Експериментальна частина

Експериментальні дослідження проводилися на макеті дослідної установки, який був виконаний в масштабі 1:20. Технологічна схема запропонованої барабанної тіпальної секції представлено на рисунку 1. Експериментальна установка працює наступним чином. Попередньо пром'ята луб'яна сировина за допомогою живильного транспортера 5 надходить до тіпального барабана 1, встановленого на опорах, виконаних у вигляді підшипників кочення 6, 7. Барабан отримує обертальний момент за допомогою зубчастої передачі 8 від стандартного приводу. У кожух барабана за допомогою завиткового живильника 3 завантажуються молотні кулі. При обертанні барабану за допомогою рівнобіжних бильних лопатей 2 та молотних куль відбуваються наступні процеси.

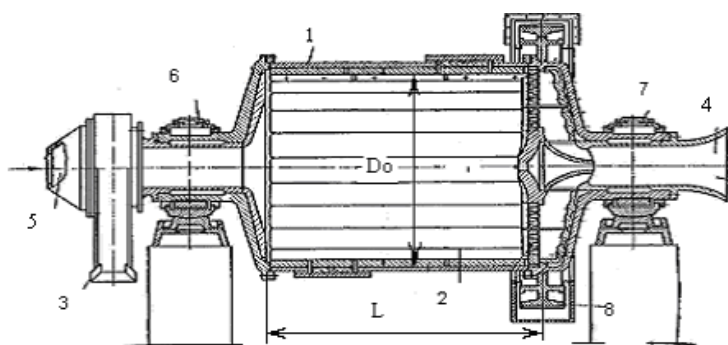


Рис. 1. Схема барабанної тіпальної секції:

де 1 – горизонтальний обертальний циліндричний барабан; 2 – рівнобіжні бильні лопаті; 3 – завитковий живильник; 4 – розвантажувальний пристрій; 5 – живильний транспортер; 6, 7 – підшипники кочення; 8 – зубчаста передача.

Злам в результаті згину, який утворюється за рахунок зрізу та скобління шару сирцю між молотними кулями та внутрішньою футерівкою тіпальної секції забезпечує зсув між волокнистою та деревинною частинами стебла, за рахунок чого здійснюється процес м'яття. Тиск повітря, який створюється у барабані за рахунок додаткового вентилятора, сприяє інтенсифікації процесу сепарації костриці.

Потоншення та штабелювання волокна здійснюється в другій тіпальній секції за рахунок процесу стирання, який відбувається завдяки внутрішній ковзкій робочій поверхні барабану, при якому зовнішні елементарні волокна піддаються деформації зсуву з подальшим відділенням відокремленням внаслідок переходу дотичних напружень за межі міцності. Якщо на волокно діють не статистичні, а динамічні навантаження, то відбувається ударне дроблення і ударне подрібнення. Проте пружні деформації залишаються однаковими. Отримане таким чином неорієнтоване луб'яне волокно вивантажують крізь діафрагмовий розвантажувальний пристрій 4.

Одержані за результатами експериментальних випробувань показники волокон коноплі представлено на рисунках 2, 3.

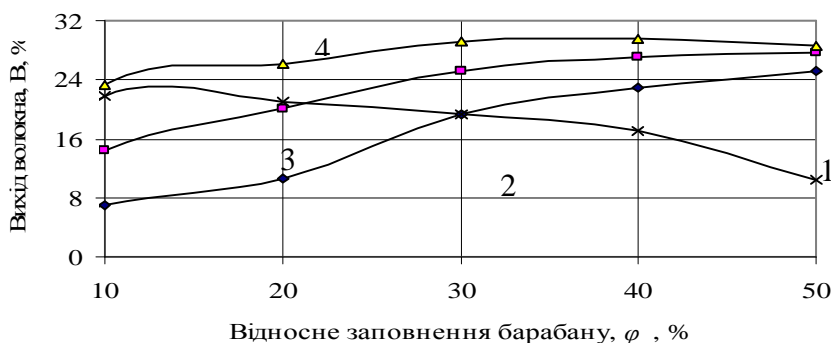


Рис. 2. Криві зміни виходу волокна залежно від відносного заповнення барабану молотними кулями, j :

1-4 – відповідно при відносній швидкості обертання барабану 20, 40, 60 і 80 % від критичної.

Відносна швидкість обертання барабану визначалася експериментальним шляхом і становила 20, 40,

60 і 80 % від $W_{кр.} = 96 \text{ хв}^{-1}$. Виходячи з наданих на рисунку 2 кривих зміни виходу волокна, можна зробити висновок про те, що для розробленого пристрою максимально ефективними є наступні режими: $Y = 60\%$ і $j = 30\%$; $Y = 60\%$ і $j = 40\%$.

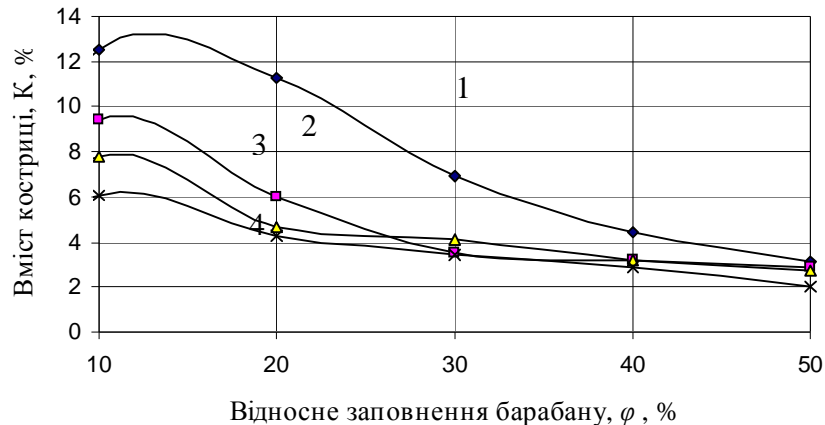


Рис. 3. Криві зміни вмісту костриці залежно від відносного заповнення барабану молотильними кульми, j :
1-4 – відповідно при відносній швидкості обертання барабану 20, 40, 60 і 80 % від критичної.

Зміна залишкового вмісту костриці в одержаному волокні зображено на рисунку 3, яка доводить, що при $Y = 60\%$ і $j = 40\%$; $Y = 60\%$ і $j = 30\%$; $Y = 80\%$ та $j = 40\%$; $Y = 80\%$ і $j = 50\%$ волокно характеризується найменшою закростриченістю.

Зіставляючи обидві графічні залежності, можна зробити висновок, що максимальний вихід волокна $B = 29,6\%$ з мінімальним вмістом костриці $K = 3,2\%$ можна одержати при $Y = 60\%$ та $j = 40\%$.

Метою другого етапу дослідження було вивчення особливостей роботи та встановлення оптимальних технічних параметрів в залежності від обраного типу кінематичної схеми декортикаційної установки.

Найбільш розповсюдженими є кульові, замість куль можуть бути використані стрижні. Конструктивною відмінністю стрижневих барабанів від кульових є збільшений діаметр завантажувальної і розвантажувальної горловини, розрахований на пропускання більшої, ніж у кульових барабанах, кількості матеріалу за одиницю часу.

Стрижні виготовляються на 25-30 мм коротше барабану, діаметр їх складає від 30 до 100 мм. Як правило, вільний політ стрижнів не допускається, вони повинні переміщатися в барабані лише шляхом перекочовування. Тому швидкість обертання стрижневих секцій зменшується в порівнянні з кульовими приблизно на 25%.

Результати експериментальних досліджень ефективності роботи різних типів декортикаторів представлено у таблицях 1, 2.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень (при нормованій вологості $W=13\%$)

Тип декортикатору	Тривалість обробки, t , хв.	Частота обертання барабана, ω , хв^{-1}	Вага додаткового завантаження, ψ , кг/м^3	Заповнення барабана, φ , %	Сорт грести	Нормоване значення виходу волокна, B_n , %	Фактичне значення виходу волокна, B_f , %	Відхилення, $\pm\Delta$, %
Кульовий	10	60	1850	40	1,0	22,8	29,6	+6,8
Стрижньовий	10	60	1850	40	1,0	22,8	28,5	+5,7
Вібраційний	10	60	1850	40	1,0	22,8	29,8	+7,0

Найбільш ефективними є вібраційні барабани. У швидкохідних барабанах цього типу привід здійснюється за допомогою вібратора, змонтованого безпосередньо на корпус машини. При обертанні вала вібратора з насадженими на нього дебалансними вантажами виникають відцентрові сили інерції, під дією яких барабан робить коливальні рухи за круговими траєкторіями.

Проте слід зазначити той факт, що при використанні стрижневих барабанних декортикаторів виникають незручності при вивантаженні обробленого волокна у зв'язку з його намотуванням на стрижні, що призводить до частих забивань та зменшує продуктивність установки. Використовуючи вібраційні декортикаційні установки слід враховувати складність їх конструкційного виконання і великий знос деталей.

Результати експериментальних досліджень (при нормованій вологості $W=13\%$)

Тип декортикатору	Тривалість обробки, t , хв.	Частота обертання барабану, ω , хв ⁻¹	Вага додаткового завантаження, γ , кг/м ³	Заповнення барабану, φ , %	Сорт трести	Нормований вміст костриці, K , %	Фактичний вміст костриці, K , %	Відхилення, $\pm\Delta$, %
Кульовий	10	60	850	40	1,0	4,0	3,2	-0,8
Стрижньовий	10	60	850	40	1,0	4,0	3,4	-0,6
Вібраційний	10	60	850	40	1,0	4,0	2,9	-1,1

Декортикаційні установки з кульовим завантаженням є найбільш універсальними і зручними у роботі, що дозволяє легко варіювати технологічні параметри обробки, змінювати спрямованість та інтенсивність механічних впливів на матеріал.

Для проведення оцінки якості конопляної трести, нами була використана методика згідно вимог ГОСТ 27345 - 87 «Треста конопляная. Технические условия» [1]. Оцінка якості отриманого волокна на вміст костриці, лінійну густина та розривне навантаження проводилася згідно вимог ГОСТ 9993 - 74 «Пенька короткая» [2].

Висновки

Аналіз одержаних результатів дозволяє зробити загальний висновок, що запропонована барабанна декортикаційна установка може бути використана для відділення костриці з лубоволокнистої сировини, оскільки обривність волокна при обробці на пропонованому устаткуванні у всіх випадках знижується, внаслідок чого збільшується відсоток його виходу.

Для трести № 1,3 нормоване значення загального виходу волокна становить 22,8% при 30,0% вмісті лубу, а фактичний вихід волокна коливається від 28,5 до 29,6%, що на 5,7÷6,8% вище показників нормованих ДСТУ і на 0,4÷1,5% нижче ніж максимально можливий вміст лубу.

Для розробленого пристрою максимально ефективними є наступні режими: $Y = 60\%$ і $J = 30\%$; $U = 60\%$ і $J = 40\%$.

Література

- ГОСТ 27345-87. Треста конопляная. Технические условия; введ.01.07.88. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 14 с.
- ГОСТ 9993-74. Пенька короткая; введ. 15.07.75. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.

Рецензія/Peer review : 30.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н., професор Чурсіна Л.А.

УДК 637.5.02

В.І. ОСИПЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА, О.В. БАТРАЧЕНКО, С.О. ФІЛІМОНОВ

Черкаський державний технологічний університет

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОДУКТИВНОСТІ ВОВЧКА

При теоретичному визначенні продуктивності м'ясорізальних вовчків за відомими виразами береться до уваги коефіцієнт використання шнека, при врахуванні якого значення продуктивності знижується на величину близько 70%. У відомій літературі відсутні вичерпні відомості з пояснення природи даного коефіцієнта та відсутні вирази, за якими можна було б його обрахувати. Нами запропоновано математичний вираз по визначенню коефіцієнта продуктивності вовчка. Він враховує особливості структурно-механічних властивостей м'яса та будову елементів різального вузла вовчка.

Ключові слова: м'ясорізальний вовчок, м'ясо, шнек, продуктивність.

VASILIIY IVANOVYCH OSIPENKO, NADYA VICTORIVNA FILIMONOVA, OLEXANDR VICTOROVICH
BATRACHENKO, SERGIY OLEXANDROVICH FILIMONOV

Cherkassy state technological university

THEORETICAL DEFINITION OF COEFFICIENT OF PRODUCTIVITY OF MEAT GRINDER

When determining theoretically the productivity of meat comminutor by known formulae, operating ratio of the screw, at the account of which the productivity value is reduced by the amount of about 70%, is taken into consideration. In the known literature there is no comprehensive information explaining the nature of this ratio and there are no formulae by which we could calculate it. We suggested a mathematical formula to determine the coefficient of productivity of the meat grinder. It takes into account both a reduction of the productivity of meat comminutor by reducing the pressuring capacity of the screw and a reduction of productivity through overlapping holes of the grades by the knife blades. This allows to take into account the peculiarities of structural and mechanical properties of the meat and structure of the elements of cutting node of the meat grinder. The results can be used in the design of the meat grinders and to justify highly productive ways of the meat supply to their cutting nodes.

Keywords: meat comminutor, meat, screw, productivity.

Постановка проблеми

Вовчки призначені для подрібнення кускового м'яса до стану фаршу. Ці машини використовуються на переважній більшості м'ясопереробних підприємств у складі різних технологічних ліній. Подальше вдосконалення вовчків неможливе без ґрунтовного розуміння робочих процесів, які відбуваються в них. Однією із проблем розвитку вовчків є недостатня точність відомих виразів, які застосовуються для проектних розрахунків, а саме – для розрахунку продуктивності.

Аналіз останніх джерел

Згідно [1-3] продуктивність вовчка визначають за продуктивністю $Q = f(K_{в.ш.})$, де $K_{в.ш.}$ — коефіцієнт подачі або використання шнеку ($K_{в.ш.} = 0,25 \div 0,35$). Таке низьке значення коефіцієнта, відповідно до [1, 2], пояснюється втратою сировини крізь зазори між шнеком та стінкою робочого циліндра, проковзуванням шнека об сировину при малій його довжині тощо. Однак, на нашу думку, втрата близько 70% від максимально можливої теоретичної продуктивності – це занадто велике значення для означених авторами [1, 2] факторів.

Розкрити сутність явища істотного зменшення максимально можливої теоретичної продуктивності вовчка можуть результати роботи [4], згідно яких при роботі шнека вовчка сировина ним подається лише в межах певного сектора, який відраховується від кінця витка шнека. Через це продуктивність вовчка знижується щонайменше удвічі. На нашу думку, саме означений ефект при роботі шнека обумовлює величину значення коефіцієнта використання шнека $K_{в.ш.} = 0,25 \div 0,35$. Актуальною є розробка теоретичних положень та математичного апарату, які б дозволяли визначати значення коефіцієнта, який враховує істотне зменшення максимально можливої теоретичної продуктивності вовчка

Метою роботи є: розробка математичного апарату, який би дозволяв визначати значення коефіцієнта продуктивності вовчка.

Виклад основного матеріалу

Пропонуємо при визначенні продуктивності вовчка оперувати не коефіцієнтом використання шнека, а коефіцієнтом продуктивності K_Q , який, як буде видно нижче, має більш комплексний характер.

Значення коефіцієнта продуктивності вовчка можна визначити, взявши до уваги усі основні чинники, які зумовлюють істотне зменшення його теоретично можливої продуктивності. На нашу думку, основним таким чинником є здатність м'ясої сировини до стискання під дією прикладеного навантаження. Саме це зумовлює необхідність достатньої деформації сировини задля подолання опору різального комплексу при продавлюванні сировини крізь нього. Звідси випливає, що важливими чинниками є геометрія шнеку та величина опору різального вузла. Іншим важливим чинником є будова різального вузла, а саме – будова ножів, які працюють в парі із решітками, оскільки згідно [3], збільшення кількості лез ножа та підвищення площі їх фронтальної проекції істотним чином зменшує площу, вільну для проходження м'яса крізь решітки. З огляду на зазначене, пропонуємо визначати коефіцієнт продуктивності вовчка K_Q , враховуючи як параметри шнека, так і параметри різального вузла.

Параметри шнека врахуємо за допомогою коефіцієнта використання шнека $K_{в.ш.}$, який являє собою

відношення площі поперечного перерізу робочого циліндру, яка окреслює зону подачі (відповідно до [4]) сировини шнеком у різальний вузол (сектор АОВ на рис. 1 б), до загальної площі поперечного перерізу робочого циліндру, який слугує для подачі сировини шнеком у різальний вузол. Якщо значення вказаних площ відобразити за допомогою значень відповідних кутів, то вираз для визначення коефіцієнта використання шнека $K_{в.ш.}$ набуде вигляду (рис. 1):

$$K_{в.ш.} = \frac{b_{max}}{360}, \tag{1}$$

де β_{max} – максимальне значення кута, який окреслює зону подачі сировини шнеком у різальний вузол, град.

Визначити значення β_{max} можна, склавши рівняння рівноваги сил, що діють на шар сировини, який останнім витком шнека подається у різальний вузол вовчка. Для того, щоб сировина набула можливості подолати силу опору різального вузла $F_{р.в.}$, необхідно створити відповідну силу стискання $F_{ст.}$:

$$F_{ст.} = F_{р.в.}, \tag{2}$$

У свою чергу дані сили визначаються наступним чином. Сила стискання, Н: $F_{ст.} = [\sigma_{ст.}] \cdot S_{ст.}$, де $[\sigma_{ст.}]$ – граничне значення напруження стискання, при якому починається процес продавлювання сировини крізь різальний вузол, Па; $S_{ст.}$ – площа на боковій поверхні останнього витка шнека, яка відповідає площі шару сировини, що піддається стисканню, м². Сила опору різального вузла, Н:

$$F_{р.в.} = \sum_{i=1}^m F_{он.i} \cdot k_{пром} \cdot k_u,$$

де $F_{он.i}$ – сила опору i -ої решітки різального вузла, Н; m – кількість решіток різального вузла; $k_{пром}$ – емпіричний коефіцієнт збільшення опору різального вузла внаслідок збільшення відстаней поміж окремими решітками на величини товщини ножів; k_u – емпіричний коефіцієнт збільшення опору різального вузла внаслідок збільшення швидкості подачі сировини.

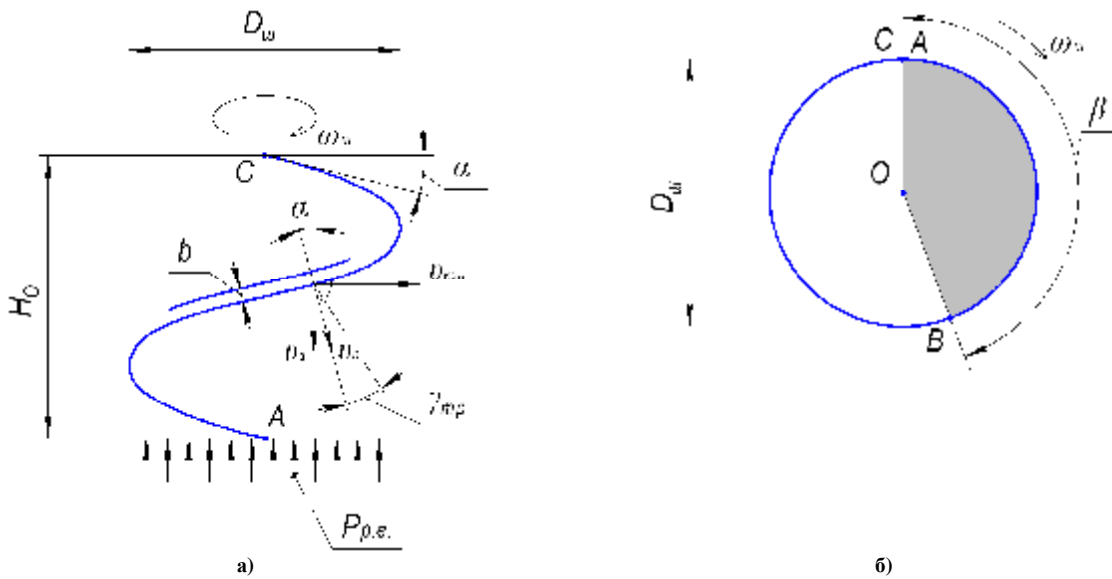


Рис. 1. Розрахункова схема останнього витка шнека при визначенні коефіцієнта використання шнека $K_{в.ш.}$ вовчка: а) – вид зверху; б) – вид з переду.

Сила опору кожної i -ої решітки різального вузла дорівнює:

$$F_{он.i} = F_{пен} + F_{зр} + F_{омв},$$

де $F_{пен} = q_{пен} \cdot S_{пен}$ – зусилля penetрації сировини при обтіканні перемичок поміж отворами решітки, Н; $F_{зр} = q_{зр} \cdot S_{зр}$ – зусилля зрізу сировини при вдавлюванні в отвори, Н; $F_{омв} = P_{омв} \cdot S_{омв}$ – зусилля опору рухові сировини всередині отворів решітки, Н; $\theta_{пен}$ – напруження penetрації сировини при обтіканні перемичок поміж отворами решітки, Па (визначається за [5]); $S_{пен}$ – площа перемичок поміж отворами, які обтікаються сировиною, м²; $\theta_{зр}$ – напруження зрізу сировини при вдавлюванні в отвори решітки, Па (визначається за [5]); $S_{зр}$ – площа отвору, в який вдавлюється сировина, м²; де $P_{омв}$ – тиск опору рухові сировини всередині отворів, Па; $S_{омв}$ – площа отвору, в який вдавлюється сировина, м².

Тиск опору рухові сировини всередині отворів решітки, відповідно до [3]:

$$P_{омв} = \left(\frac{q_0}{k_{\sigma}} \right) \cdot e^{\frac{4f \cdot k_{\sigma} \cdot B_p}{d_0}} - \frac{q_0}{k_{\sigma}},$$

де f – коефіцієнт тертя сировини об стінки каналу; B_p – товщина решітки, м; d_0 – діаметр отвору, м; q_0 – залишковий боковий тиск, Па; k_{σ} – коефіцієнт бокового тиску.

Вказані значення площ запишуться наступним чином (розглядаємо випадок, коли площа поперечного перерізу шару сировини, який продавлюється, дорівнює сумі площ одного отвору решітки та відповідної частки перемичок поміж отворами):

$$S_{омс} = \frac{p \cdot d_0^2}{4}, S_{сп} = \frac{p \cdot d_0^2}{4}, S_{нен} = \frac{p \cdot d_0^2}{4} \left(\frac{1-j}{j} \right), S_{см} = S_{омс} + S_{нен} = \frac{p \cdot d_0^2}{4} \cdot \frac{1}{j},$$

де φ – коефіцієнт перфорації решітки, який дорівнює відношенню сумарної площі отворів для проходження сировини до загальної площі решітки (активна частина решітки – диск, окреслений граничними точками лез обертового ножа, який працює в парі з решіткою).

Значення коефіцієнту $k_{пром}$ можна визначити за [6]. Значення коефіцієнту k_v визначимо відповідно до даних експериментальних досліджень [6]: $k_u = e^{a_u} \cdot u_o^{b_u}$, де v_o – осьова швидкість подачі сировини, м/с; a_u, b_u – емпіричні коефіцієнти, значення яких залежить від подовження отворів решітки та виду сировини.

Середнє значення лінійної швидкості руху сировини при її подачі останнім витком шнека визначимо так (рис. 1 а). Середнє значення колової швидкості при обертанні витка шнека –

$$u_{кол} = w_{ш} \cdot \left(\frac{D_{ш}}{2} - \frac{h}{2} \right), \text{ де } h \text{ – глибина гвинтового каналу шнека. Її нормальна до поверхні шнека складова –}$$

$$u_n = u_{кол} \cdot \sin a. \text{ З урахуванням кута } \gamma_{мп} \text{ тертя сировини об поверхню шнека: } u_n = \frac{u_{кол} \cdot \sin a}{\cos g_{мп}}. \text{ Тоді осьова}$$

швидкість переміщення сировини (за умови, що на внутрішній поверхні циліндру, в якому працює шнек, наявні прямолінійні ребра і сировина рухається на кшталт гайки, яка приводиться у рух обертовим гвинтом) буде визначатись наступним чином:

$$u_o = u_n \cdot \cos(a + g_{мп}) = \frac{u_{кол} \cdot \sin a}{\cos g_{мп}} \cdot \cos(a + g_{мп}) = \frac{p \cdot n_{ш} \cdot (D_{ш} - h) \cdot \sin a}{\cos g_{мп}} \cdot \cos(a + g_{мп}),$$

де $n_{ш}$ – частота обертання шнека, c^{-1} .

Далі визначимо напруження, які виникають в шарі сировини при його стисканні. Напруження в сировині, відповідно до закону Гука [7], прямо пропорційні відношній її деформації ε та модулю пружності E :

$$S_{см} = e \cdot E, \quad (3)$$

де ε – відносна деформація; E – модуль пружності при стисканні, Па.

Значення кінцевої відносної деформації сировини при її подачі останнім витком шнека вовчка:

$$e_{\kappa} = e_{o,\kappa} \cdot k_e, \quad (4)$$

де $\varepsilon_{o,\kappa}$ – кінцева відносна деформація сировини, яка відбулась саме в зоні останнього витка шнека і яка виміряна в місці прилягання останнього витка до різального вузла; k_e – коефіцієнт деформації, який визначає ступінь попереднього деформування сировини при її потраплянні в зону останнього витка шнеку, причому:

$$k_e = \frac{V_{зан.}}{V_{o-1}}, \quad (5)$$

де $V_{зан.}$ – об'єм міжвиткового простору шнека, в якому коефіцієнт його заповнення сировиною дорівнює 1;

V_{o-1} – об'єм міжвиткового простору шнека, який знаходиться перед останнім витком.

Для часткового випадку будови шнека з постійними значеннями $D_{ш}$ і $d_{ш}$ вираз (5) набуде вигляду:

$$k_e = \frac{H_{зан.}}{H_{o-1}},$$

де $H_{зан.}$ – крок міжвиткового простору шнека, в якому коефіцієнт його заповнення сировиною дорівнює 1; H_{o-1} – крок міжвиткового простору шнека, який знаходиться перед останнім витком.

Значення відносної деформації шару сировини при русі саме в зоні останнього витка шнека (рис. 2):

$$e_o = \frac{H_o - l}{H_o} = \frac{p \cdot D_{ш} \cdot \operatorname{tg} a - L_{AB} \cdot \operatorname{tg} a}{p \cdot D_{ш} \cdot \operatorname{tg} a}, \quad (6)$$

де H_o – крок останнього витка шнека; l – відстань від поверхні останнього витка до різального вузла ($l = L_{AB} \cdot \operatorname{tg} a$); $D_{ш}$ – зовнішній діаметр шнека; a – кут нахилу гвинтової поверхні шнека; L_{AB} – довжина дуги АВ.

Довжина дуги АВ відрізняється від довжини кола діаметром $D_{ш}$ в стільки разів, в скільки разів відрізняється величина кута β від 360° : $L_{AB} = p \cdot D_{ш} \frac{\beta}{360}$. Тоді визначити значення відносної деформації шару сировини, положення якого визначається кутом β (див. рис. 1), можна так:

$$e_o = \frac{p \cdot D_{ш} \cdot \operatorname{tg} a - p \cdot D_{ш} \frac{\beta}{360} \cdot \operatorname{tg} a}{p \cdot D_{ш} \cdot \operatorname{tg} a} = 1 - \frac{\beta}{360} \quad (7)$$

де β – поточне значення кута, який окреслює зону подачі сировини шнеком у різальний вузол, град.

В той же час, відносна деформація, відповідно до кінетичного рівняння [7], залежить від прикладеного тиску наступним чином

$e = a_e \cdot P^{a_1} (1 + a_2 \cdot \lg t) = 5,2 \cdot P^{0,32} (1 + 0,058 \cdot \lg t)$, де P – прикладений тиск, Па; τ – тривалість деформації, с; a_e, a_1, a_2 – коефіцієнти, які залежать від геометричних і механічних факторів та фізико-хімічного стану сировини (для м'яса $a_e=5,2$; $a_1=0,32$; $a_2=0,058$). При цьому, згідно [7], значення тиску в шарі сировини залежить від відстані до точки прикладання тиску - $P_l = P \cdot e^{(-0,115 \cdot l \cdot D_{ш}^{-0,33})}$, де P – значення тиску, прикладеного до шару сировини, Па; l – відстань від точки прикладання тиску до шуканої точки, м; $D_{ш}$ – діаметр циліндра, в якому відбувається стискування сировини, м.

Враховуючи, що зміні тиску P вздовж відстані l відповідатиме зміна відносної деформації сировини ε , при розгляді деформування сировини останнім витком шнека (7), врахуємо зміну відносної деформації вздовж відрізка l :

$$e_{o.k.} = \left(1 - \frac{b}{360}\right) \cdot e^{-0,037 \cdot l \cdot D_{ш}^{-0,33}} \quad (8)$$

де $l = L_{AB} \cdot \operatorname{tg} a = p \cdot D_{ш} \cdot \frac{b}{360} \cdot \operatorname{tg} a$ - відстань від поверхні останнього витка до різального вузла.

Підставимо отримані часткові вирази у вихідне рівняння (2) і, скоротивши $S_{омб}$, визначимо значення кута β , град:

$$\left(1 - \frac{b}{360}\right) \cdot \left(e^{-0,037 \cdot p \cdot D_{ш} \cdot \frac{b}{360} \cdot \operatorname{tg} a \cdot D_{ш}^{-0,33}} \right) \cdot \frac{H_{зан.}}{H_{o-1}} \cdot \frac{E}{j} = \\ = \left(q_{нен} \cdot \left(\frac{1-j}{j} \right) + q_{зр} + \left(\frac{q_0}{k_\sigma} \right) \cdot e^{\frac{4f \cdot k_\sigma \cdot B_p}{d_0}} - \frac{q_0}{k_\sigma} \right) \cdot \left(\frac{p \cdot k_{нром} \cdot n_{ш} \cdot e^{a_u} \cdot (D_{ш} - h) \cdot \sin a \cdot \cos(a + g_{mp})}{\cos g_{mp}} \right)^{b_u} \quad (9)$$

Рівняння (9) можна розв'язати лише чисельними методами, тому для практичних розрахунків введемо спрощення, згідно якого зміна деформації по товщині шару сировини не враховується. Тоді значення кута β_{max} , який окреслює зону подачі сировини шнеком у різальний вузол, буде, град:

$$b = 360 - 360 \left(q_{нен} \cdot \left(\frac{1-j}{j} \right) + q_{зр} + \left(\frac{q_0}{k_\sigma} \right) \cdot e^{\frac{4f \cdot k_\sigma \cdot B_p}{d_0}} - \frac{q_0}{k_\sigma} \right) \times \\ \times \left(\frac{j \cdot k_{нром} \cdot H_{o-1}}{E \cdot H_{зан.}} \right) \left(\frac{p \cdot n_{ш} \cdot e^{a_u} (D_{ш} - h) \sin a \cdot \cos(a + g_{mp})}{\cos g_{mp}} \right)^{b_u} \quad (10)$$

Використовуючи вирази (9), (10) можемо визначити значення коефіцієнта використання шнека $K_{в.ш.}$ за виразом (1).

Визначимо коефіцієнт продуктивності вовчка K_Q (рис. 3). Його можна визначити, як відношення площі активної частини решітки $S_p^{акт}$, крізь яку може подаватись сировина і яка обмежена кутом β_{max} , до загальної площі решітки S_p :

$$K_Q = \frac{S_p^{акт}}{S_p} \quad (11)$$

Площа активної частини решітки визначається так:

$$S_p^{акт} = S_{сек} - S_n^{акт} \quad (12)$$

де $S_{сек} = j \cdot \frac{P}{4} (D_p^2 - d_p^2) \frac{\beta_{max}}{360}$ - площа кільцевого сектора, обмеженого кутом β_{max} ; $S_n^{акт} = S_l^{акт} \cdot z_l^{акт}$ - площа фронтальних проекцій лез ножа, що знаходяться в зоні подачі сировини, яка окреслена кутом β_{max} ;

$S_p = j \cdot \frac{P}{4} (D_p^2 - d_p^2)$ - площа решітки; D_p - зовнішній діаметр решітки; d_p - діаметр центрального отвору решітки; $S_l^{акт}$ - площа фронтальної проекції одного леза ножа, яке знаходиться в зоні подачі сировини, що окреслена кутом β_{max} ; $z_l^{акт}$ - кількість лез ножа, які знаходяться в зоні подачі сировини, що окреслена

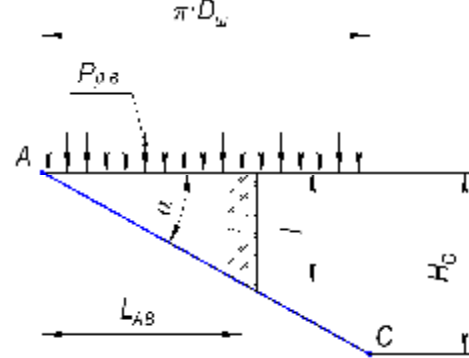


Рис. 2. Розрахункова схема розгортки останнього витка шнека при визначенні коефіцієнта використання шнека $K_{в.ш.}$ вовчка

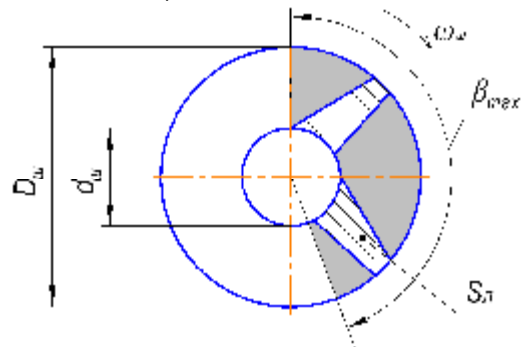


Рис. 3. Розрахункова схема останнього витка шнека (вид спереду) при визначенні коефіцієнта K_Q продуктивності вовчка

кутом β_{\max} .

Тоді, після елементарних перетворень, кінцевий вираз по визначенню коефіцієнта продуктивності вовчка K_Q набуде вигляду:

$$K_Q = \frac{b_{\max}}{360} - \frac{4S_{\lambda}^{\text{акт}} \cdot z_{\lambda}^{\text{акт}}}{j \cdot p (D_p^2 - d_p^2)}. \quad (13)$$

З урахуванням рівняння (10):

$$K_Q = 1 - \frac{S_{\lambda}^{\text{акт}} \cdot z_{\lambda}^{\text{акт}}}{j \cdot \frac{p}{4} (D_p^2 - d_p^2)} - \left(q_{\text{нев}} \cdot \left(\frac{1-j}{j} \right) + q_{\text{зр}} + \left(\frac{q_0}{k_{\sigma}} \right) \cdot e^{\frac{4f \cdot k_{\sigma} \cdot B_p}{d_0}} - \frac{q_0}{k_{\sigma}} \right) \times \\ \times \left(\frac{j \cdot k_{\text{пром}} \cdot H_{o-1}}{E \cdot H_{\text{зап.}}} \right) \left(\frac{p \cdot n_{\text{ш}} \cdot e^{a_u} (D_{\text{ш}} - h) \sin a}{\cos g_{\text{мп}}} \cdot \cos(a + g_{\text{мп}}) \right)^{h_u}. \quad (14)$$

Висновки

У роботі запропоновано математичний вираз по визначенню коефіцієнта продуктивності вовчка. Він враховує, як зменшення продуктивності вовчка внаслідок зменшення нагнітальної здатності шнека, так і зменшення продуктивності через перекриття лезами ножа отворів решіток. Це дозволяє врахувати особливості структурно-механічних властивостей м'яса та будову елементів різального вузла вовчка. Отримані результати можуть бути використанні при проектуванні вовчків та для обґрунтування високопродуктивних способів подачі м'яса до їх різального вузла.

Література

1. Пелеев А. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / А. И. Пелеев. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 537 с.
2. Чижикова Т. В. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов / Т. В. Чижикова. – М.: Легкая промышленность, 1982. – 240 с.
3. 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.
4. 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 ЧДТУ. – 2013. – № 2. – С.84-96.
5. Філімонова, Н. В. Дослідження структурно-механічних властивостей м'яса, як об'єкту переробки у вовчку / Н. В. Філімонова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 7. – С. 13-19.
6. Некоз О. І. Гідравлічний опір різального вузла вовчків / О. І. Некоз, В. І. Осипенко, Н. В. Філімонова, О. В. Батраченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 6. – С. 13-19.
7. Горбатов А. В. Реология мясных и молочных продуктов / А. В. Горбатов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 384 с.

Рецензія/Peer review : 7.10.2015 р.

Надрукована/Printed :1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОГО, СОНЯЧНОГО І ГАЛАКТИЧНОГО МАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА I

На основі аналізу сучасних гео- та геліосейсмологічних даних, а також отриманих розрахункових і експериментальних результатів, запропонований новий механізм генерації гравітаційно-акустичних та магнітних збурень поля руху космічних систем, центральні ядра яких складаються з двох частин, що здійснюють динамічну контактну взаємодію в процесі диференційного обертання. Джерелом енергії такого обертання є гравітаційне стиснення, що забезпечує твердотільний стан металізованої водневої плазми в ядрах зірок та галактик, а також шарів нейтрального водню в ядрах планет, зокрема, шарів водню, осаджених на контактному розриві внутрішнього твердого ядра Землі. Переходи водню з металічного в діелектричний стан на етапах релаксації контактної тиску, які супроводжуються значним енерговиділенням підтримують диференційне обертання складених ядер. Розрахований спектр низькочастотних гравітаційних хвиль, що генеруються контактом у сонячному ядрі, та завузлюють космічне поле руху астероїдів у Головному поясі, сімействі Хільди, троянських астероїдів Юпітера, та у поясі Койпера Сонячної системи. Саме ці хвилі обумовлюють всі основні цикли сонячної активності і, зокрема, 500-600-літній цикл, пов'язаний з мінімумом Маундера. Обґрунтована альтернативна до відомих теорій гідромагнітного динамо концепція контактної динамо – як джерела планетарного, сонячного і галактичного магнетизму.

Ключові слова: контактне динамо, когерентність, космічне поле руху, гравітаційні хвилі, сонячна активність, металічний водень, ядро, контактний розрив, магнетизм

YU. P. ZASPA

Khmelnytsky National University

CONTACT DYNAMO AS THE GENERATOR OF COHERENT SPACE FORMS OF MOTION AND THE SOURCE OF PLANETARY, SOLAR AND GALACTIC MAGNETISM. PART I

On the basis of modern geo- and helioseismic data analysis and also the computational and experimental results which were received, the new mechanism of generation of the gravity-acoustic and magnetic perturbations of the motion field of the space systems is proposed, the central cores of which consist of two parts, that are performing the dynamic contact interaction during the process of differential rotation. The source of energy of such rotation is the gravitational compression which provides the solid state of the metallized hydrogen plasma in the stellar cores and galactic cores, as well as the neutral hydrogen layers of planets, in particular, layers of hydrogen deposited on the discontinuity of the interior solid core of the Earth. The hydrogen transitions from metal into dielectric state at the stages of relaxation of contact pressure, accompanied by the strong release of energy, support the differential rotation of the compound cores. The calculated range of the low-frequency gravitational waves that are generated by the contacts in the solar core, and are knotting the cosmic field movement in the Main asteroid belt, the family of Hilda, Trojan asteroids of Jupiter and the Kuiper belt in the Solar system. Exactly these waves cause all the major cycles of the solar activity and in particular the 500-600-year old cycle that is associated with the Maunder Minimum. The well substantiated alternative of the well-known theories of the hydromagnetic dynamo the contact dynamo concept - as the source of planetary, solar and galactic magnetism.

Keywords: contact dynamo, coherence, cosmic field movement, gravitational waves, solar activity, metallic hydrogen, core, contact discontinuity, magnetism

Вступ

Динаміка нестационарної контактної взаємодії деформованих твердих тіл все ще залишається одним із “темних кутків” сучасної фізики. Неголономність в’язей не дозволяє прямо застосовувати тут розвинутий математичний апарат теоретичної механіки твердого тіла [1], а наявність контактної розриву – методи механіки суцільного середовища [2]. Практично всі спеціальні контактні задачі вирішені в квазістатичній, або ж кінематичній постановці – з нехтуванням інерційних членів у рівняннях руху [3]. Чисельні методи фізичної мезомеханіки (рухливих клітинних автоматів, скінчених елементів та ін.) [4] хоч і поєднують моделювання контактної взаємодії на різних масштабних рівнях, все ж використовують апріорно задані макроформи руху без врахування важливих зворотних зв’язків у динамічній системі, що змінюють граничні умови задачі.

Однак, лишень в таких “темних кутках” і лежать ключі від найбільших таємниць, ілюзій та міфів сучасної фізики. Серед останніх слід відзначити гідромагнітне динамо як джерело планетарного, сонячного і галактичного магнетизму [5-10], уявлення про газоподібний (або ж рідкий) плазмовий стан ядра Сонця та інших зірок головної послідовності на діаграмі Герцшпрунга – Рессела [10], твердження про відносність інерції та відсутність постульованої Ньютоном абсолютної інерційної системи відліку, які в поєднанні з презумпцією однорідності та ізотропності Всесвіту є основою загальної теорії відносності Ейнштейна [11] та класичних Фрідманових, а також сучасних стандартних космологічних моделей [11-12].

Якщо космологічні моделі становлять скоріше загальноприродничий інтерес, то питання земного і сонячного магнетизму, сонячної активності мають “архіважливе” практичне значення. Запропонована майже століття тому Дж. Лармором [10] ідея гідромагнітного динамо – генерації великомасштабного магнітного поля конвективними рухами плазми – старанно культивується і в наші дні. Наприклад, в нещодавно

опублікованому огляді з питань сонячного динамо [8] налічується біля трьохсот посилань на роботи з цієї теми. Гідромагнітне динамо вважається єдиним реальним механізмом магнетизму Землі [5-10], незважаючи на відсутність будь-яких доказів його існування та труднощі відповідних кінематичних несамоузгоджених моделей [5-9], які за свою більш як півстолітню історію так і не змогли пояснити характер варіацій магнітного поля Землі і Сонця, а також, власне, саму сонячну активність.

Блукання у тому ж таки “темному кутку” контактної трибодинаміки з ідеєю когерентності (взаємопов’язаності) процесів у динамічній системі [13-16] несподівано виявило різочу подібність експериментальних акустограм контактної взаємодії у звичайних технічних системах [16] з часовими рядами, що характеризують варіації сонячної активності в динамічній системі зовсім іншого масштабу. Ця несподіванка виявилась неабияким стимулом для пошуку того ж таки контакту деформівних твердих тіл в умовах Сонця, який міг би забезпечити широкий спектр варіацій його активності. Перша частина результатів такого пошуку наводиться в даній роботі.

Гідродинамічне та топологічне описання твердотільних контактних систем

Успіхи теоретичної механіки твердого тіла, як уже відзначалось, обмежуються голономними системами, до яких, на жаль, реальні контактні системи не відносяться. Аналогічно, можливості сучасної контактної механіки деформівних твердотільних тіл обмежені квазістатикою та кінематикою розрахункових схем, що практично виключає їх з розгляду динамічних задач, де інерційні складові в рівняннях руху є невід’ємними. В результаті навіть “елементарне” кочення кульки підшипника похилою площиною не описується ні теоретичною механікою твердого тіла, ні сучасною контактною механікою деформівних твердих тіл [13-15].

Для подолання цих труднощів потрібно знаходити і розвивати альтернативні підходи. Несподіване проявлення універсальних спектрів гідродинамічної турбулентності в акустограмах контактної взаємодії деформівних твердих тіл [16] дає надію на успіх у парадоксальному, з першого погляду, застосуванні гідродинамічних методів в твердотільних системах. Ці методи, як відомо, базуються на тих же законах Ньютона, однак записаних для фізично малих об’ємів середовища. Це дозволяє використати тут апарат теорії поля (швидкостей, завихреності, напружень та ін.) вже без нехтування інерційними складовими в рівняннях руху. Суттєвою особливістю сучасних методів теорії поля є їх топологічна спрямованість, що явно проступає, наприклад, в задачах згаданого вище гідромагнітного динамо [7, 17, 18]. Питання, пов’язані з контактною генерацією магнітного поля в космічних системах будуть розглянуті в другій та третій частинах даної роботи. Однак, почати варто з найбільш інтригуючої загадки фізики Сонця – сонячної активності, а у вужчому розумінні – сонячної циклічності, яка не має адекватного пояснення до цього часу, хоча документально ретельно засвідчена ще з часів Маундера [19]. Як буде показано нижче, всі відомі цикли сонячної активності можуть бути дешифровані, виходячи з попереднього аналізу “звичайного” контактного руху монетки або ж обручки площиною стола. Однак, цей рух виявляється рівно настільки ж складним, як і рух астероїдів у Головному поясі та поясі Койпера, або ж астероїдів сімейства Хільди та троянців Юпітера. Космічне поле руху цих астероїдів є повним аналогом поля швидкостей та завихреності руху монетки, чи обручки, а характерні частоти обох полів розраховуються за спільними формулами гідродинаміки для поверхневих та внутрішніх гравітаційних хвиль. Різниця полягає лише в контактах: в умовах Сонця головний контакт (контакти) знаходиться на границі внутрішнього та зовнішнього твердотільних ядер, в той час, як у земному випадку він у буквальному розумінні слова лежить у нас на столі. Було б недоречно в цих умовах не дослухатись до контактного “дзвону монети”.

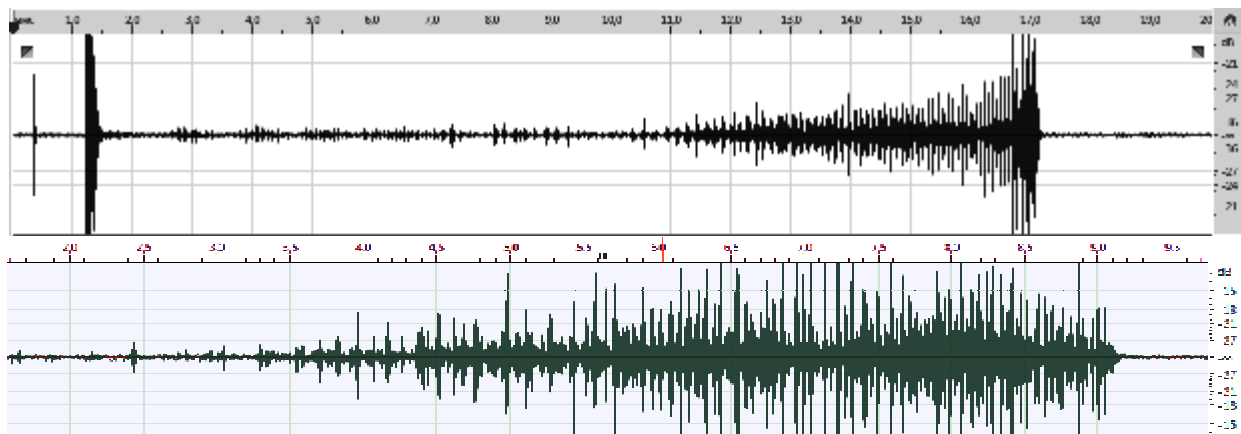


Рис. 1. Загальні акустограми руху металевого кільця (а) та дзеркального диску (б) полірованою площиною дзеркала (а) та шліфованою площиною стола (б).

На рисунках 1-2 показані різномасштабні акустограми руху металевого кільця (обручки) зовнішнім діаметром 23 мм та дзеркального диску діаметром 71 мм, запущених “з ребра” полірованою площиною дзеркала (рис. 1а) та шліфованою площиною гетинаксового стола (рис. 1б, рис.2). Видно, що поле руху містить численні когерентні складові, згруповані в різних масштабах часу. Основний найбільш виражений

масштаб (рис. 1) є аналогом відомого майже 11- літнього періоду в циклах сонячної активності (рис. 3-4). Рух ротора умовно розбивається на два етапи. На першому етапі внаслідок епізодичної втрати рівноваги вертіння генеруються вихор-хвильові збурення поля швидкостей руху та відповідного поля контактних напружень, відображеного в сигналі акустичної емісії. Перехід від рівноважного кінематичного вертіння до невірноваженого динамічного здійснюється в класичних канолах переміжності гідродинамічної турбулентності (рис. 1, рис. 2а,б). Високочастотні збурення на першому етапі автомодулюються низькочастотним сигналом з періодом порядку секунди (рис. 1а), що виникає, як неважко помітити, внаслідок спірального завузленого руху ротора площиною стола.

На другому етапі здійснюється перехід до переважно горизонтального (похилого) положення площини ротора. Останній здійснює складний рух у вигляді одночасного кочення, вертіння, прецесії та високочастотних стрибків. На завершальній стадії руху кочення практично зупиняється (що видно по рисунку на монеті), а прецесія та стрибки у випадку кільця – наростають (рис. 1а). У результаті накладання великої сукупності мод руху формується загальна хмара поля швидкостей руху ротора, яку слід розглядати саме в гідродинамічному аспекті – як збурений шар рідини між дном (площиною контакту) та поверхнею на рівні центра мас ротора. Форми руху в такій моделі визначаються відомими гравітаційно-акустичними хвилями в рідині [20], причому найбільші за часовим масштабом збурення відносяться до низькочастотних гравітаційних мод. Саме вони модулюють високочастотну переважно акустичну складову, яка є основою сигналу акустичної емісії (рис. 2).

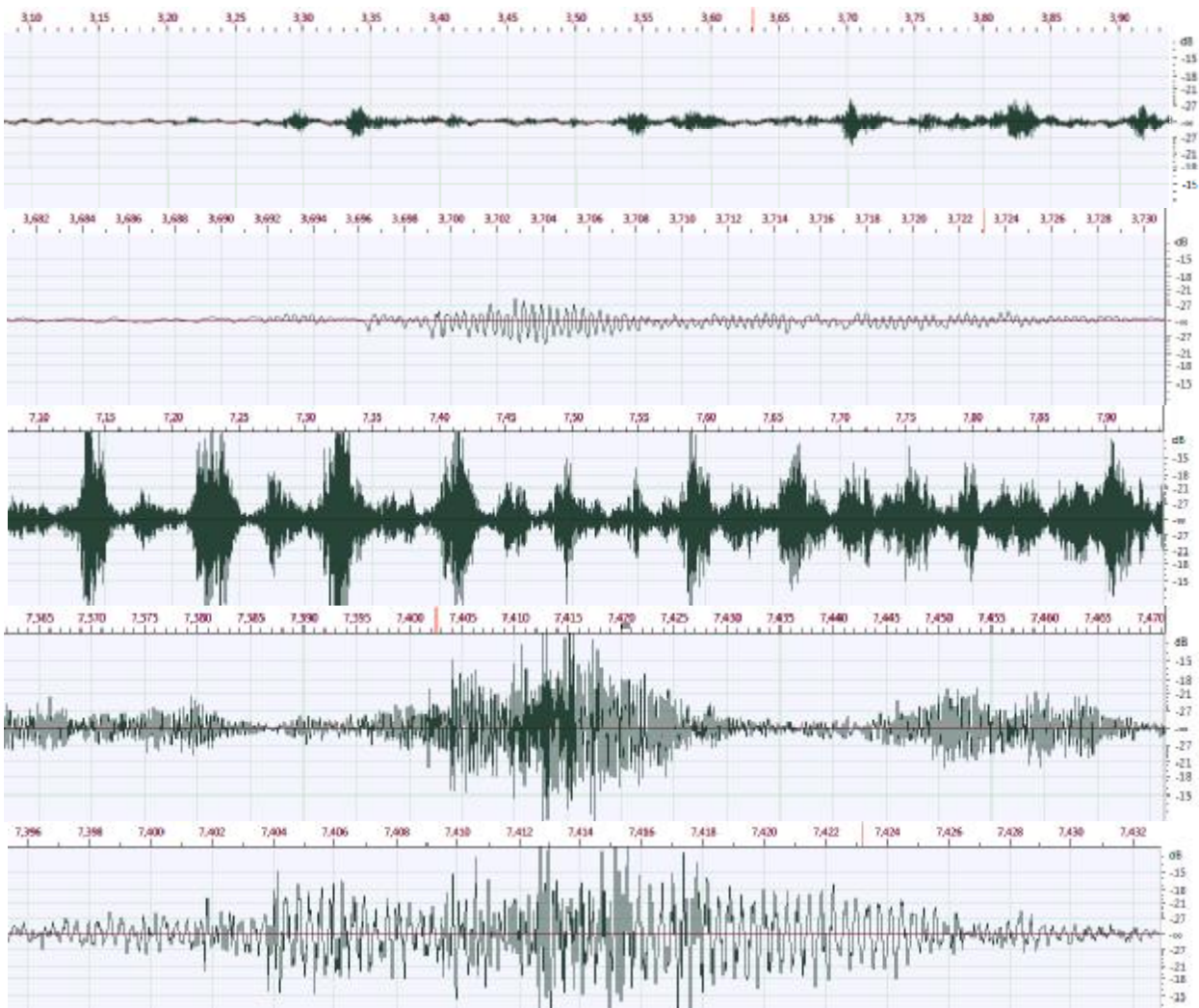


Рис.2. Різномасштабні акустограми руху дзеркального диску, які відповідають загальній акустограмі, показаній на рисунку 1б.

На рисунках 5-7 показані аналогічні хмари поля руху, сформовані астероїдами навколо Сонця. Спеціально слід зауважити, що твердотільність технічних та нетвердотільність космічних роторів становить тут скоріше психологічну, ніж фізичну різницю. Спостерігаючи “в профіль” за рухом монетки, або ж обручки, площиною стола, при бажанні можливо побачити той же рух астероїдів навколо Сонця, або ж рух зірок у галактичному диску.

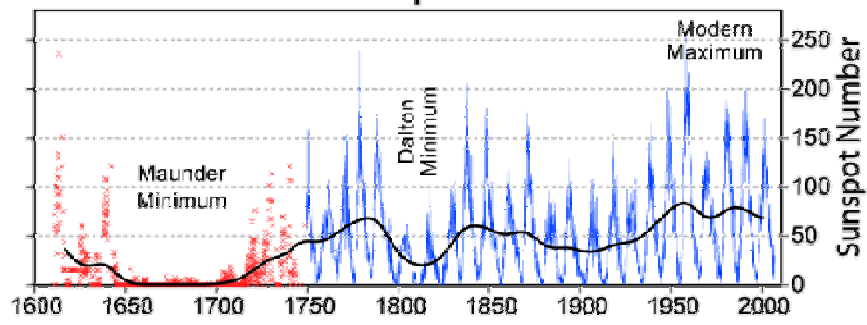


Рис.3. 400-літня історія числа сонячних плям [36]

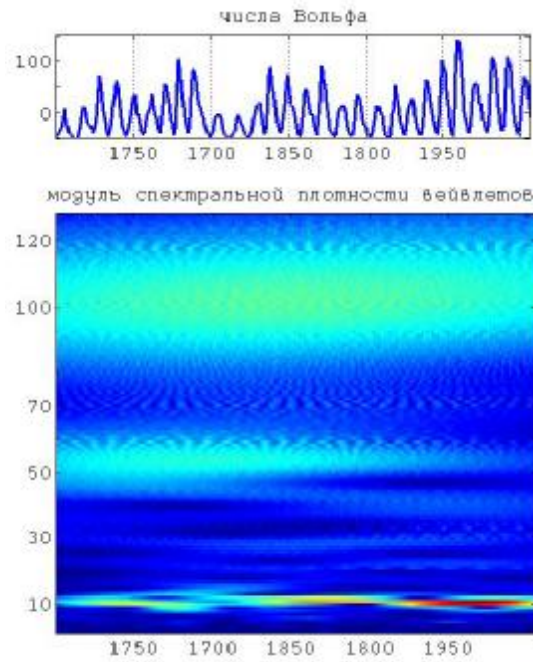


Рис. 4. Середньорічні числа Вольфа (вгорі) та розподіл спектральної густини вейвлет - перетворення цього часового ряду (внизу) [21] (горизонтальна шкала містить очевидну технічну помилку в “круглих” датах, однак тут подається авторський варіант без змін).

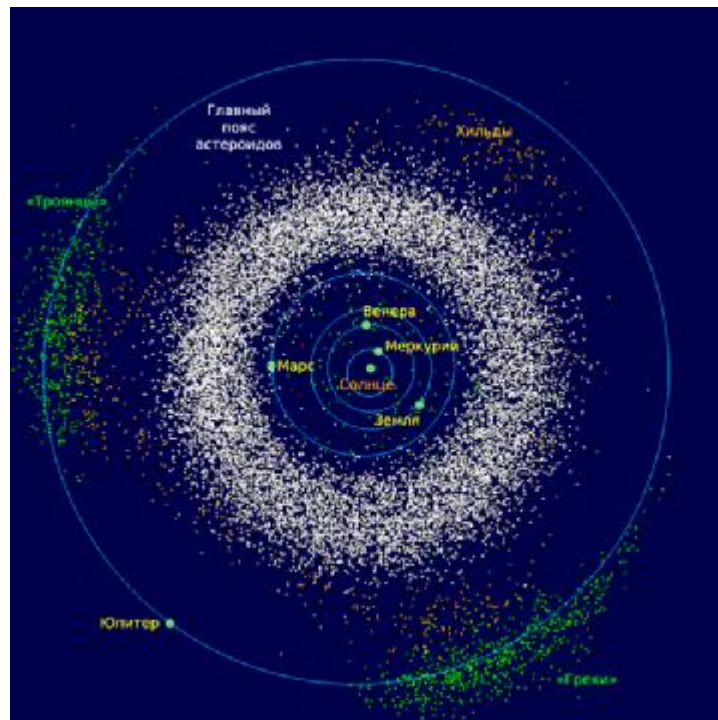


Рис. 5. Головний пояс астероїдів, астероїди сімейства Хильди та троянські астероїди Юпітера [37].

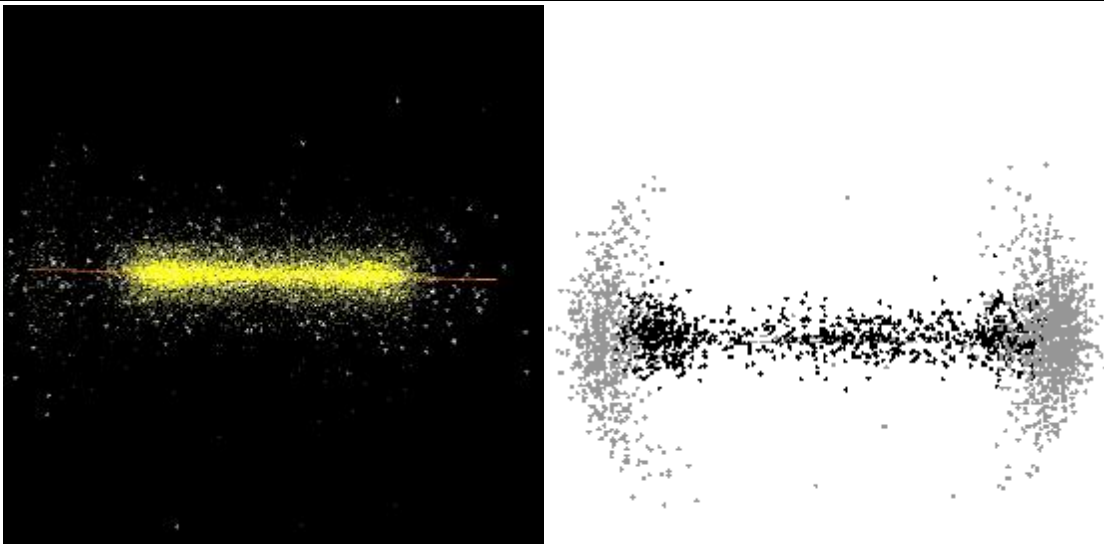


Рис. 6. Вигляд головного поясу астероїдів (зліва), а також астероїдів сімейства Хільди та троянців Юпітера (справа) при спостереженні в площині екліптики [38,39].

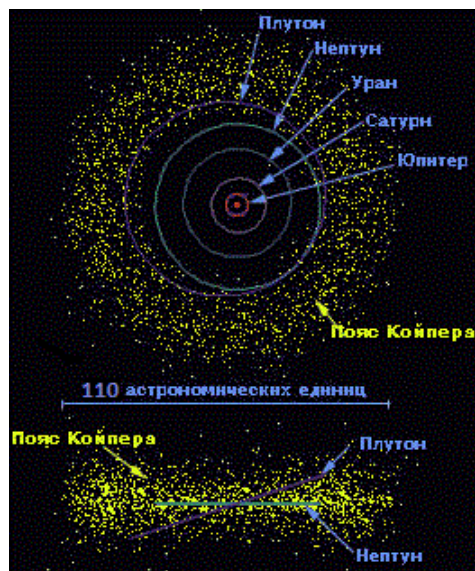


Рис. 7. Пояс Койпера [40].

Вихідним параметром розрахунку в гідродинамічній моделі гравітаційно-акустичних хвиль є частота плавучості (Брента-Вяйсяля) [20]:

$$N(z) = \left[-\frac{g}{\rho} \cdot \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{\rho \cdot g}{c^2(z)} \right) \right]^{1/2} \quad (1).$$

Тут g – напруженість гравітаційного поля, ρ – густина рідини, яка залежить від нормальної координати z (висоти шару рідини, що відраховується від дна), c – швидкість звуку. За фізичною суттю N є частотою вертикальних, тобто нормальних до дна, коливань елемента рідини. У нашому випадку N слід вважати циклічною частотою нормальних контактних коливань ротора, яка суттєво залежить від їх амплітуди. При низькій амплітуді коливань – порядку контактного зближення – ця частота визначається контактною жорсткістю та масою ротора. В протилежному випадку великих амплітуд контактних коливань в полі сили тяжіння їх частота визначається лише напруженістю гравітаційного поля та висотою підйому центра мас ротора h :

$$N(h) = 2p \cdot (g / 8h)^{1/2}. \quad (2)$$

Незважаючи на формальну різницю в технічному та сонячному контактах (перший знаходиться на периферії ротора, а другий – поблизу центру), топологічно поля швидкостей руху середовища, що збурюється контактом, в обох випадках однакові. Ця топологічна спільність і є основою для єдиного описання обох систем руху з незіставленими масштабами.

Рішення гідродинамічних рівнянь руху аналогічного обмеженого шару нестискуваної рідини в гравітаційному полі приводять до наступного дисперсійного рівняння гравітаційних хвиль [20]:

$$g \cdot x \cdot \left[(N/w)^2 - 1 \right]^{1/2} \cdot \operatorname{tg} \left\{ x \cdot H \cdot \left[(N/w)^2 - 1 \right]^{1/2} \right\} = N^2 - w^2. \quad (3)$$

Тут w – циклічна частота хвиль, x – хвильове число в площині, паралельній шару рідини, H – товщина шару рідини. Остання в нашому випадку приймає два суттєво різних значення: або радіуса ротора R (на першому етапі розглянутого вище руху технічного ротора), або ж висоти h (на другому етапі). У випадку космічних систем це відповідає або відстані до Сонця, або ж півтовщині "середньозваженої" астероїдної хмари, яка розглядається в профіль в площині екліптики (рис. 6, 7). Ця півтовщина розраховується на відстані R до Сонця за формулою:

$$h = R \cdot (b/a), \quad (4)$$

де a і b – відповідно ширина та висота (товщина) профілю хмари астероїдів.

Відмічені два випадки ($H = R$, $H = h$) визначають суттєво різні за частотою і формою руху моди гравітаційних хвиль. При цьому специфіка нестационарних контактних реакцій проявляється у тому, що вони здатні формувати поле руху збуреного середовища, яке формально відповідає не тільки вертикальному, але й центрально-симетричному (майже горизонтальному для технічного ротора) напряму напруженості зовнішнього поля. В сонячних системах руху, де гравітаційне поле є дійсно центрально-симетричним, навпаки – висота h формально відраховується не від центру, а перпендикулярно до площини космічного диску (кільця). У цьому, власне, і проявляється взаємодоповнення двох контактних систем із незіставними масштабами при вирішенні даної задачі.

Рівняння (3) отримане за певних граничних умов [20]: нульової нормальної швидкості частинок середовища на дні (непроникність) та постійному тиску на поверхні рідини. Ці граничні умови відповідають нашій задачі. Крім того, тут виконуються умови:

$$x \cdot H \ll 1, \quad N/w \gg 1. \quad (5)$$

За цих умов рішення (3) розбивається на три характерних випадки, які відповідають, по перше, гравітаційній моді нульового порядку, що поширюється з груповою швидкістю $(g \cdot H)^{1/2}$ (поверхнева мода):

$$w_0 = x_0 \cdot (g \cdot H)^{1/2}, \quad (6)$$

по друге, дискретному набору внутрішніх хвиль, що визначається з умови:

$$x \cdot H \cdot \left[(N/w_n)^2 - 1 \right]^{1/2} = (n-1/2)p, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (7)$$

по третє, дискретному набору внутрішніх хвиль, який знаходиться з умови:

$$x_m \cdot H \cdot \left[(N/w_m)^2 - 1 \right]^{1/2} = mp, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

Друга умова в (5) дозволяє суттєво спростити вирази (7) – (8):

$$w_n = x_n \cdot N \cdot H / (n-1/2)p, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

$$w_m = x_m \cdot N \cdot H / mp, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

Рівняння (6), (9), (10) визначають закони дисперсії поверхневих та внутрішніх гравітаційних хвиль, однак вони не дозволяють визначити, власне, частоти мод. Для цього слід використати додаткову умову кратності між довжиною хвилі та довжиною резонатора в системі когерентного контактного генератора хвиль. Остання є системою типу ядро-оболонка [15]. Тут роль ядра, що генерує збурення, виконує механічний контакт ротора зі статором (або ж іншим ротором), а роль оболонки – оточуюче фізичне середовище, яке у випадку космічних систем простягається далеко за межі твердотілого центра. За умови локальності контакту та завихореності поля збурень швидкостей частинок середовища, як показує аналіз, резонатор має спіральну, або ж кільцеву структуру. Остання добре проглядається в хмарах астероїдів – рис. 5-7. Для завузленого спірального резонатора середнім радіусом R можливі дві різні форми кратності:

$$2pR = i \cdot l_i / 2, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

$$l_j = 2pR \cdot j, \quad j = 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

У першому випадку на довжині кільця вкладається ціле число півдовжин хвилі (короткі хвилі), а у другому випадку довжина хвилі кратна довжині одного кільця резонатора (довгі хвилі). Умови (11) – (12) визначають подвійну структуру спектру гравітаційних хвиль, що задається дисперсійними співвідношеннями (6), (9), (10). При цьому обмеження (5) дозволяють провести певну селекцію мод, що відповідають фізичним умовам задачі:

Співвідношення (11), (12) доцільно переписати в термінах хвильових чисел:

$$x_i = 2p / l_i = i / 2R, \quad i = 1, 2, 3 \quad (13)$$

$$x_j = 2p / l_j = 1 / (jR), \quad j = 1, 2, 3 \quad (14)$$

Для поверхневої моди нульового порядку можливі лише довгі хвилі, що задаються останнім виразом. Підставляючи (13), (14) в (6), (9), (10), отримуємо відповідні дискретні спектри мод:

$$w_{0,j} = (g \cdot H)^{1/2} / (jR), \quad j = 1, 2, 3 \dots \quad (15)$$

$$w_{n,i} = \frac{NH}{pR} \cdot \frac{i}{2n-1}, \quad n, i = 1, 2, 3 \dots \quad (16)$$

$$w_{n,j} = \frac{2NH}{pR} \cdot \frac{1}{j(2n-1)}, \quad n, j = 1, 2, 3 \dots \quad (17)$$

$$w_{m,i} = \frac{NH}{2pR} \cdot \frac{i}{m}, \quad m, i = 1, 2, 3 \dots \quad (18)$$

$$w_{m,j} = \frac{NH}{pR} \cdot \frac{1}{m \cdot j}, \quad m, j = 1, 2, 3 \dots \quad (19)$$

Оскільки часові ряди чисел Вольфа та сонячної постійної, що характеризують активність Сонця [10, 21], містять характерні періоди гравітаційних хвиль, а не їх частоти, то для зручного порівняння теоретичних спектрів з фактичними даними доцільно переписати (15) – (19) в термінах періодів мод:

$$T_{0,j} = 2pRj / (gH)^{1/2}, \quad j = 1, 2, 3 \dots \quad (20)$$

$$T_{n,i} = \frac{2p^2R}{NH} \cdot \frac{2n-1}{i}, \quad n, i = 1, 2, 3 \dots \quad (21)$$

$$T_{n,j} = \frac{p^2R}{NH} \cdot j(2n-1), \quad n, j = 1, 2, 3 \dots \quad (22)$$

$$T_{m,i} = \frac{4p^2R}{NH} \cdot \frac{m}{i}, \quad m, i = 1, 2, 3 \dots \quad (23)$$

$$T_{m,j} = \frac{2p^2R}{NH} \cdot m \cdot j, \quad m, j = 1, 2, 3 \dots \quad (24)$$

Порівняння (20) – (24) з періодами сонячної активності слід проводити із врахуванням топології та симетрії руху космічної речовини у Сонячній системі (рис. 5-7). Як видно, найчіткіше тут проявлена кільцева (тороїдальна) топологія у Головному поясі астероїдів та у поясі Койпера – рис. 5, 7. Такому випадку відповідають поверхневі моди нульового порядку, в першу чергу основна мода з періодом $T_{0,1}$. Оскільки, як уже зазначалося, величина H може приймати два характерні значення $H = R$ і $H = h$, то для цих двох випадків отримуємо:

$$T_{0,1}^R = 2\pi R / (gR)^{1/2}, \quad T_{0,1}^h = 2\pi R / (gh)^{1/2} \quad (25).$$

Вирази (25) варто переписати, враховуючи радіальну залежність напруженості сонячного гравітаційного поля:

$$g(R) = g_0 \cdot R_s^2 / R^2, \quad (26)$$

де $g_0 = 2,7 \cdot 10^2 \text{ м/с}^2$ – напруженість на поверхні Сонця, $R_s = 7 \cdot 10^8 \text{ м}$ – радіус Сонця. Тоді отримаємо:

$$T_{0,1}^R = 2\pi R \cdot (R / g_0)^{1/2} / R_s, \quad T_{0,1}^h = 2\pi R^2 \cdot (g_0 h)^{-1/2} / R_s. \quad (27)$$

Для Головного поясу астероїдів приймаємо: $R = 2,8 \text{ а.о.}$ (1 астрономічна одиниця = $1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$), $h = 0,53 \text{ а.о.}$ Ці величини визначені, виходячи з масштабів на рис. 5,6, які задаються розміром орбіти Юпітера. Підставляючи їх в (27), отримуємо:

$$T_{0,1}^R = 4,7 \text{ років}, \quad T_{0,1}^h = 10,8 \text{ років}. \quad (28).$$

Друга величина тут практично співпадає із середнім приблизно 11-літнім періодом сонячного циклу ($\approx 10,85$ років), врахуванням шляхом простого ділення загальної тривалості 24-х циклів сонячної активності на кількість циклів. Перший період також представлений у спектрах сонячної активності, однак значно слабше [21]. Отже, головний приблизно 11-літній період активності Сонця відмічений у формах руху Сонячної системи кільцевим (тороїдальним) завузленням у Головному поясі астероїдів.

Для поясу Койпера приймаємо $R = 42 \text{ а.о.}$, $h = 10,5 \text{ а.о.}$ (рис. 7), що дає:

$$T_{0,1}^R = 270 \text{ років}, \quad T_{0,1}^h = 550 \text{ років}. \quad (29).$$

Виходячи з результатів попереднього аналізу, слід зробити висновок про основну роль другого періоду у цій парі, а також про те, що саме 500-600 – літній цикл сонячної активності, відмічений кільцевим (тороїдальним) завузленням космічного поля руху астероїдів у поясі Койпера, і відповідає за “таємничий” мінімум Маундера у другій половині 17-го століття (рис. 3), коли на протязі близько 70-ти років на Сонці майже не спостерігалось плям [19]. Сучасний абсолютний максимум цього циклу, очевидно, був досягнутий у 1956-58 рр. у ході 19-го циклу (рис. 3,4) і ближчих два століття нас очікує довготривале зниження сонячної

активності, що завершиться у першій половині 23-го століття черговим “мінімумом Маундера”. Це вселяє надію на позитивні кліматичні зміни на Землі, перегрітій не стільки вельми збалансованою сонячною активністю, скільки катастрофічною техногенною діяльністю людства. Спостерігаючи за останнім, на жаль, розумієш, що така надія майже напевно виявиться марною.

Найбільш помітними нетороїдальними завузленнями космічного поля руху в сонячній системі є “трикутне” завузлення у астероїдному сімействі Хільди та бінарно-трійчасте завузлення у сусідньому полі троянських астероїдів Юпітера (рис.5, 6.). Топологія такого поля відповідає внутрішнім модам третього порядку, періоди яких задаються рівняннями (21) - (24) при $n, m, i, j = 3$. Для короткохвильових мод руху астероїдів сімейства Хільди при $R = 4,5$ а.о., $h = 0,83$ а.о. (рис. 5, 6) отримуємо такі періоди коливань:

$$T_{n,i=3}^R = 9,7 \text{ років}, \quad T_{n,i=3}^h = 53 \text{ роки}, \quad (30),$$

$$T_{m,i=3}^R = 11,6 \text{ років}, \quad T_{m,i=3}^h = 64 \text{ роки}, \quad (31).$$

Як слідує з отриманих результатів, саме завузлення космічного поля руху астероїдів сімейства Хільди з полем руху у Головному поясі астероїдів обумовлює значні коливання тривалості “одинадцятирічного” циклу, який на протязі історії спостережень змінювався, наприклад, з $\approx 9,4$ років у 1749-1800 рр. до $\approx 11,2$ років у 1800-1900 рр. [21]. Друга частина періодів у (30)-(31) також знаходить реальні відображення в часових рядах сонячної активності (рис. 4.).



Рис. 8. Візуалізації форм руху дзеркального диску площиною стола

Для короткохвильових мод третього порядку поля руху троянських астероїдів Юпітера приймаємо $R = 5,3$ а.о. (дещо за орбітою Юпітера), $h = 3,2$ а.о. – рис. 5,6. Остання величина є вельми значною – в порівнянні з Головним поясом астероїдів та сімейством Хільди. Тут існує певна аналогія з астероїдами Розсіяного диску, що оточують пояс Койпера. Як і троянці Юпітера, вони рухаються по дуже нахилених, іноді вертикальних орбітах [22], контактуючи із значно спокійнішим тороїдальним космічним полем руху, характерним для поясу Койпера. Відмітимо очевидну асиметрію моди третього порядку, пов’язаної з троянцями Юпітера. Така асиметрія вельми характерна і для технічних контактних систем. На рис.8 наведені спіральні траєкторії руху зайчика лазерного випромінювання, відбитого від дзеркального диску, що здійснює вищезгаданий рух поверхнею стола на завершальному його етапі. Вони отримані методом цифрової відеозйомки з послідовним суміщенням кадрів. Як видно, спостерігається одностороння ламаність траєкторій руху зайчика, пов’язана із “завалом” ротора на одну сторону, що виявляє додаткові акустично-гравітаційні моди вищих частот. Повторення загального ходу в деталях свідчить про те, що когерентність системи зберігається принаймні на протязі декількох прецесійних обертів диску, частота яких відповідає основній гравітаційній моді. Аналогічно до цього, третя мода космічного руху за орбітою Юпітера “завалена” в бік точки Лагранжа L3 навпроти нього (через Сонце). Ця асиметрія, власне, і обумовлює “аномально” високі орбіти троянців Юпітера – в порівнянні, наприклад, з астероїдами сімейства Хільди (рис. 6 б).

Для короткохвильових мод третього порядку поля руху троянських астероїдів Юпітера з (21), (23) отримуємо:

$$T_{n,i=3}^R = 22,4 \text{ років}, \quad T_{n,i=3}^h = 37 \text{ років}, \quad (32)$$

$$T_{m,i=3}^h = 45 \text{ років}, \quad T_{m,i=3}^R = 27 \text{ років}, \quad (33)$$

Перша величина в (32) дуже близька до подвоєного значення ≈ 11 -літнього періоду сонячної активності і нерідко приймається за основний цикл, оскільки за цей час в середньому відновлюється полярність глобального магнітного поля Сонця [10].

Широковідомий квазістолітній цикл сонячної активності, очевидно, слід шукати серед довгохвильових мод тих же троянців Юпітера, або ж астероїдів сімейства Хільди. Із співвідношень (22), (24) отримуємо для троянських астероїдів Юпітера:

$$T_{n,j=3}^R = 100 \text{ років}, \quad T_{n,j=3}^h = 170 \text{ років}, \quad (34)$$

$$T_{m,j=3}^R = 120 \text{ років}, \quad T_{m,j=3}^h = 200 \text{ років}, \quad (35)$$

Повертаючись до завузленого космічного поля руху астероїдів сімейства Хільди, аналогічно отримуємо періоди довгохвильових мод третього порядку у цьому полі:

$$T_{n,j=3}^R = 44 \text{ роки},$$

$$T_{n,j=3}^h = 240 \text{ років}, \quad (36)$$

$$T_{m,j=3}^R = 52 \text{ роки},$$

$$T_{m,j=3}^h = 290 \text{ років}, \quad (37)$$

Як видно з (30) - (37), відносно топологічно складне завузлення космічного поля руху поблизу орбіти Юпітера обумовлює широкий спектр коливань сонячної активності. Саме ці коливання спостерігаються в часових рядах чисел Вольфа і сонячної постійної [21]. В цілому, майже півстолітній період сонячної активності (рис.4) "забезпечений" рухом астероїдів сімейства Хільди, в той час, як майже столітній цикл – рухом троянців Юпітера.

Отже, варіації сонячної активності, що становлять загадку вже не одне століття, обумовленні не прямим впливом великих планет на рух Сонця, як це зазвичай вважається, а згенерованими в ядерному сонячному контакті (контактах) і завузленими в оточуючому космічному просторі збуреннями поля руху космічної речовини, розпорошеної у вигляді астероїдів, пилу та газу, а також плазми у геліосфері Сонця. Дехто вважає що речовину ледь не космічним сміттям, жалюгідними залишками великих планет, адже сумарна маса всіх астероїдів разом узятих вряд чи більша маси Землі [22]. Однак, саме ця розпорошена маса в дійсності і забезпечує той зворотній зв'язок із генеруючим контактом, що вибирає з суцільного спектру гравітаційних мод (3) дискретні форми руху, які представлені в часових рядах сонячної активності.

В рамках обмеженого об'єму першої частини даної роботи залишається лише конкретизувати, власне, цей загадковий контакт, що генерує збурення космічних масштабів, контакт, що знаходиться у "самому пеклі" – на границі внутрішнього та зовнішнього сонячних ядер – в умовах термоядерного синтезу.

Твердотільний контакт в надрах Сонця

Безперечні та вражаючі досягнення геліосейсмології [10,23,24] практично ніяк не оцінені спеціалістами по зоряній еволюції [10], та й, врешті, недооцінені самими геліосейсмологами. Ще в 80-х роках минулого століття на основі аналізу доплерівських зсувів частоти внутрішніх акустичних мод Сонця низької степені (з високими радіальними індексами [10]) був зроблений попередній висновок про те, що сонячне ядро обертається принаймні, в два рази швидше за оболонку [10]. Значно пізніше на основі аналізу вже аналогічних гравітаційних мод ця цифра була підвищена до значень 3-5 [23]. Однак, подальший більш ретельний аналіз 11-річного космічного спостереження внутрішніх акустичних мод Сонця [24] виявився вельми суперечливим. На рисунку 9 показані два результати рішення оберненої чисельної задачі (інверсії [24]) з розрахунку радіального профілю частоти обертання речовини Сонця на основі вимірюваного доплерівського зсуву в спектрах внутрішніх акустичних мод [24]. Рисунок 9а демонструє фактично двоядерну структуру, у якій зовнішнє сонячне ядро радіусом $r_2 \approx 0,2R_s$ обертається дещо повільніше за оболонку, в той час як внутрішнє ядро радіусом $r_1 \approx 0,1R_s$ обертається більш ніж втричі швидше за зовнішнє. Автори роботи [24] віднесли цей стрибок в розряд штучних технічних ефектів (артефактів), обмежившись варіантом (б), у якому внутрішнє ядро вже попадає у невизначену заштриховану область за межами довірчого інтервалу. Однак, навіть у такому випадку характер диференційного (щодо оболонки) обертання зовнішнього ядра зберігається. У цьому контексті варто відмітити зовсім недавнє геосейсмологічне відкриття двоскладного твердого ядра Землі з різною просторовою орієнтацією кристалів заліза у внутрішньому та зовнішньому ядрах – з практично аналогічним щодо сонячного співвідношенням радіусів ядер [25]. Така спільність дозволяє нам прийняти результати роботи [24], представлені на рис.9а, за дійсні, а не штучні. Для порівняння на рис.10 наведені радіальні профілі сонячного виробництва нейтрини у різних термоядерних реакціях синтезу [26], розраховані на основі стандартної еволюційної моделі Сонця [10].

Як видно, на сьогоднішній день запаси водню в центральній частині сонячного ядра вельми скоротились і максимум протон – протонної реакції відповідає значенням $r \approx 0,11R_s$. Отже, внутрішнє тверде ядро з високою імовірністю могло утворитись в результаті гравітаційного стиснення центральної частини, збагаченої гелієм та збідненої воднем. Тут одразу виникає запитання про джерела енергії диференційного руху двох ядер. Адже, як показують елементарні розрахунки, за умов сонячного ядра без сторонніх джерел енергії відносний рух ядер при мінімальному коефіцієнті контактного тертя ($\sim 0,01$) був би зупинений за час порядку однієї секунди. Термоядерне джерело живлення одразу слід виключити з контексту контактного синтезу когерентних форм руху, оскільки характерні часові параметри пружної

(електромагнітної) та ядерної взаємодії різняться на багато порядків величини [10]. Для вирішення цього питання слід згадати про конкретні фізичні умови в ядрі, розраховані в рамках стандартної моделі Сонця. Характерна густина в центрі сонячного ядра $\approx 160 \text{ г/см}^3$ [10], що на порядок перевищує густину важких земних металів, одразу кидає тінь на адекватність розрахунку стандартної моделі Сонця на основі рівняння стану ідеального газу [10]. Як відомо, при тисках порядку декількох сотень гігапаскаль водень переходить у металічний стан з густиною порядку $0,7 \text{ г/см}^3$ [27]. Тиск у центрі сонячного ядра становить порядку сорока мільйонів гігапаскаль, а температура $\sim 10^7 \text{ }^\circ\text{K}$ [10]. В якому стані там водень? Якщо у металічному, то який фазовий стан цієї плазми – рідкий, чи твердий? Тут варто зауважити, що автори ідеї металічного водню Ю.Вігнер та Х.Б.Хантингтон [10] схилились до графітоподібної шаруватої гексагональної ґратки. Ця ідея якнайкраще відповідає трибології твердотілого контакту між внутрішнім та зовнішнім ядрами Сонця. Адже розташування атомів гелію між площинами атомів водню в даному випадку, полегшуючи зсув цих площин, спричинюватиме ефект твердотілого контактного змащення, аналогічного графітному – з дифузією домішок між площини атомів вуглецю.

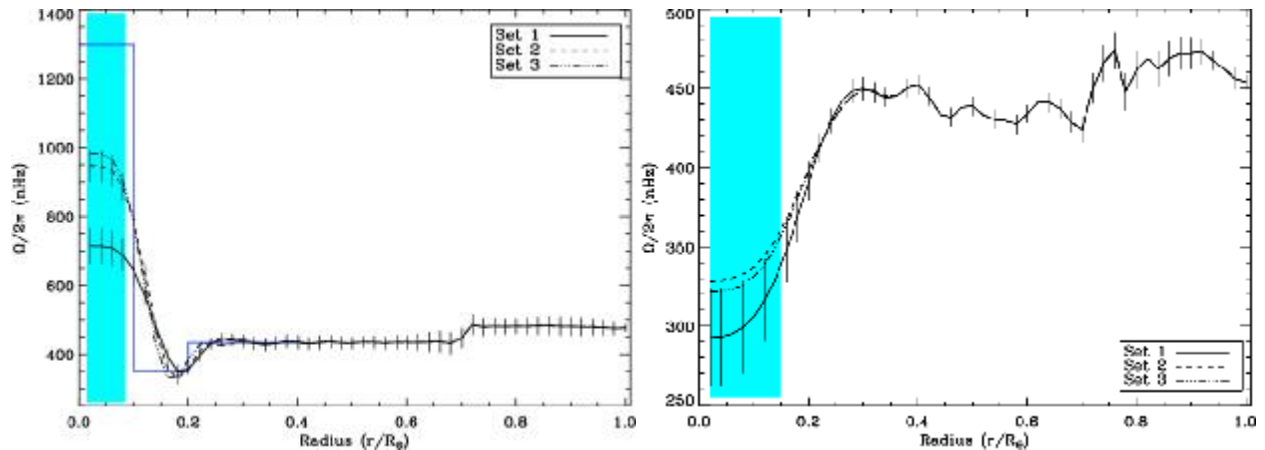


Рис. 9. Радіальні залежності екваторіальної частоти обертання речовини Сонця [24].

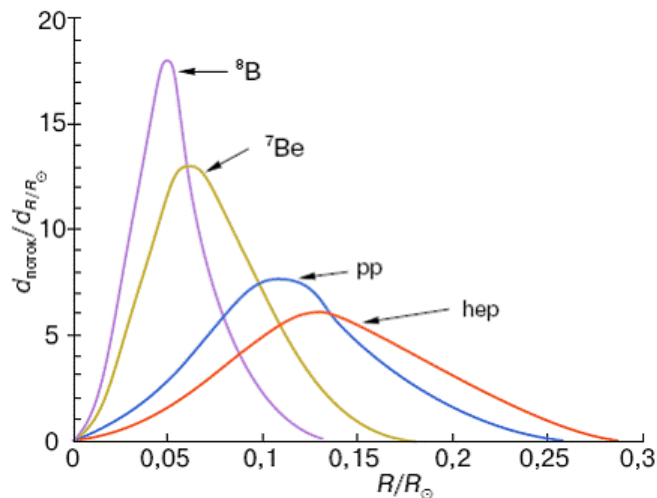


Рис. 10. Доля нейтрино, утворених у відповідних реакціях синтезу, в залежності від відстані до центру Сонця [26].

Як відомо, при зворотному переході водню з метастабільного металічного стану в діелектричний при умовах, що можуть бути досягнуті в рамках земних технологій, виділяється рекордна для відомих видів палива енергія з питомою густиною $\approx 216 \text{ МДж/кг}$ [27]. Якщо вважати, що в умовах релаксації тиску в ядерному геліоконтакті виділяється подібна густина енергії, то елементарний підрахунок приводить до товщини контактної сфери, необхідного для підтримання диференційного обертання ядер, порядку одного кілометра. В масштабах Сонця це зовсім небагато. Перехід на “аналогічний” технічний масштаб дає товщину твердотілого змащення, наприклад, порядку $0,1 \text{ мкм}$ для кульки підшипника діаметром 10 мм . Відмічена метастабільність металічної водневої плазми сприяє збереженню форми поверхонь ядер навіть за умов багатоциклічного порушення цілісності геліоконтакту, як і у звичайних технічних контактних системах.

Аналогічний геоконтактний механізм генерації гравітаційно-акустичних збурень потребує шару металічного водню між внутрішнім та зовнішнім ядрами Землі товщиною порядку 20 нанометрів (за попередніми оцінками). Цей шар, найімовірніше, і сформувався в процесі земної еволюції за рахунок дифузії водню в область контакту. Подібний механізм генерації збурень і пов’язаного з ними магнітного поля, очевидно, обумовлює високі значення напруженості останнього на планетах-гігантах, особливо на

Юпітері та Сатурні. Ці планети, як відомо, мають підпорядковане космічне поле руху, переважно кільцевої топології. Зважаючи на значно нижчі температури ($\sim 10^4 \text{ K}$ [10]), ніж на Сонці, їх відносно великі водневі ядра знаходяться не в рідкому, як це вважається, а в твердому стані. Оскільки водень є найпоширенішим елементом у Всесвіті, то контактне динамо також є джерелом зоряного і галактичного магнетизму – незалежно від протікання реакцій синтезу в надрах ядер цих астрофізичних систем. Розглянутий механізм, однак, не слід сприймати в контексті “вічного двигуна”, адже він лише когерентно трансформує енергію гравітаційного стиску в енергію диференційного руху складеного ядра.

Як показує аналіз, контактна генерація вихор-хвильових збурень космічного поля руху йде у напрямі мінімізації тривимірної енстрофії (інтегрального квадрата завихреності поля руху). Важливим побічним результатом цього процесу є сповільнення твердотілого обертання космічних роторів – Сонця, Землі, планет-гігантів та ін.. Адже твердотільне обертання в даному випадку не відповідає мінімуму енстрофії. На нашу думку, саме цей чинник обумовлює довготривале зниження частоти обертання вказаних роторів – випереджаючи припливне тертя та інші механізми сповільнення. Сонце, як відомо [28], за історію свого існування втратило біля 90% кутового моменту імпульсу. Тут варто додати, що розглянуте вище контактне джерело енергії, з нашого погляду, відповідає також за “дисбаланс” космічних енергетичних потоків на Землі та планетах-гігантах, які випромінюють у космос більше енергії, ніж отримують звідти.

Відмітимо також деякі аспекти геліоконтактного динамо в контексті відомої проблеми дефіциту сонячних нейтрино [10] та еволюційних моделей Сонця. В даній частині роботи розглянуті лише низькочастотні гравітаційні форми збурень космічного поля руху, що генеруються в міжядерному контакті. Аналіз високочастотних акустично-гравітаційно-магнітних збурень, який буде викладений у другій частині роботи, приводить до значень магнітного поля в локалізованих когерентних структурах руху, згенерованих геліоконтактом, порядку одного гігагауса (в об’ємі ядер). Для порівняння відмітимо, що напруженість поля цих же структур при досягненні ними границь Сонця (фотосфери) складає вже значно меншу величину $\sim 1\text{-}3 \text{ kG}$ – у сонячних плямах, що, власне, і являють собою ці структури. Якщо врахувати значне магнітне поле в сонячному ядрі, а не тільки слабке поле в конвективній зоні – як це робиться у відомих теоріях гідромагнітного динамо [5-10], то раніше встановлені вимоги на граничний магнітний момент нейтрино стосовно проблеми його сонячного дефіциту [29,31] понижаються на п’ять порядків. Це “повертає довіру” до класичних пояснень дефіциту сонячних нейтрино на основі механізму перевертання спіральності у магнітному полі [30], одночасно послаблюючи позиції прихильників альтернативної теорії нейтринних осциляцій [29,31].

Порівняння даних, наведених на рис.9,10, прямо вказує на те, що міжядерний контакт в умовах Сонця практично перерізає навіпіл теоретичний максимум протікання термоядерних реакцій протон – протонного циклу, розрахований на основі стандартної моделі Сонця. Це не може не впливати на загальну сонячну еволюцію, яка для зірки головної послідовності діаграми Герцшпрута - Рессела визначається саме реакціями синтезу в ядрі [10]. Незважаючи на відмічену вже суттєву різницю характерних часів електромагнітної та ядерної взаємодії, наявність контактного розриву посеред зони термоядерного синтезу може спричинити ряд довготривалих (кумулятивних) ефектів. По-перше, зниження середнього тиску в площині розриву приведе до зміщення максимуму реакції синтезу у підконтактну область в глибині зовнішнього ядра. Таке зміщення гратиме ту роль недифузного і неконвективного перемішування речовини в сонячному ядрі, яку вже давно шукають критики стандартної моделі Сонця [10]. Адже воно матиме своїм наслідком заміщення гелієм водню в цій області (внаслідок синтезу ядер). При цьому водень у самій контактній зоні залишиться “недовикористаним” через розривне падіння тиску. Результатом релаксації напружень у цьому процесі може стати утворення нового – зовнішнього контактного розриву в ядрі. В кінцевому рахунку це приведе до формування кільчастої структури “еволюційного зрізу” сонячної кулі, що аж ніяк не очікується в стандартних моделях зоряної еволюції [10].

Головний міжядерний контакт (точніше, контакти) має локальний характер і поміж іншого, як уже відмічалось, генерує локалізовані акустично – гравітаційно – магнітні збурення, які досягаючи фотосфери, формують відомі “метелики Маундера”. Крім цього внутрішнього твердотілого контакту важливу роль в динаміці Сонця відіграє також зовнішній газовий (плазмовий) шаруватий контакт на поверхні, утворений відносно тонким верхнім шаром конвективної зони (шаром неефективної конвекції [10]), фотосферою, нижньою хромосферою, верхньою хромосферою, внутрішньою короною Сонця. Розрахунок динаміки цього контакту, який буде зроблений у другій частині роботи, доводить, наприклад, що добре відома сонячна грануляція та надгрануляція являє собою когерентні гравітаційно-акустично-магнітні хвилі, а не результат “самоорганізованої конвекції”, як це зазвичай подається [10]. В поверхневому контакті в значній мірі формується міжпланетне магнітне поле та “здіймається” сонячний вітер, утворений внаслідок зміни топології когерентних структур руху, накопичених в атмосфері Сонця. Ця зміна топології, виражена в т.ч. у відомому перезамиканні силових ліній магнітного поля [32,33], сонячних спалахах, ударних хвилях та гігантських виверженнях плазми, по суті відображає собою конкуренцію двох контактних генераторів руху (внутрішнього та зовнішнього) за космічний життєвий простір. Земля та планети - гіганти хоч і потерпають від такої конкуренції (внаслідок, наприклад, магнітних бур), однак відносно захищені, як відомо, власним магнітним полем. Менш відомо, точніше – зовсім невідомо, що цей захист створюється по тій же контактній системі, як і на Сонці.

На завершення цього розгляду відмітимо стисло деякі аспекти контактного динамо, що виходять за

рамки Сонячної системи і про які йшлося у вступній частині роботи. Галактичне динамо, як показують розрахунки, що будуть викладені в третій частині роботи, відповідає тій самій спіральній та кільцевій топології завузленого космічного поля руху, однак в значно більших масштабах. В якості речовини, що збурюється контактним розривом в галактичному ядрі, виступає зоряний газ, а також газово – пилова суміш, які входять до складу галактичного середовища. Якщо кільцеві завузлені структури руху тут приховані у балджі (потовщенні), або ж у барі (перетинці), то спіральна структура “доступна для огляду” і вражає своєю красою. Низькочастотні гравітаційні хвилі, згенеровані галактичним контактом в ядрі, рухаються вдовж спіральних гілок, а не радіально, як це вважається у відомих вельми суперечливих теоріях галактичних хвиль густини [34,35]. В той же час, високочастотна складова гравітаційних хвиль має компоненту руху, перпендикулярну площині галактичного диску, що й обумовлює відомі коливання Сонця поперек диску з напівперіодом $\sim 30\text{-}35$ млн. років [22]. Останній “за дивним збігом обставин” співпадає з характерним циклом масового вимирання багатьох видів тварин на протязі історії Землі [10].

Згадана у вступі загальна теорія відносності Ейнштейна та всі космологічні моделі на її основі (в т.ч. найсучасніші [12]) повністю суперечать ідейній основі проведеного тут аналізу, що збігається з Ньютонівським трактуванням абсолютного простору і абсолютного часу, а також “вродженої” інертності матеріальних об’єктів. Ніякого викривлення евклідового простору не спостерігається ні в сонячному ядрі зокрема, ні, як показують останні дослідження [12], у Всесвіті в цілому. “Реінкарнація” відомої космологічної постійної Ейнштейна для штучного вживлення Фрідманових космологічних моделей у реальність евклідового простору [12] не може приховати головної вади цих моделей – зухвалої впевненості в однорідності та ізотропності Всесвіту. Останнє, по суті, еквівалентне хаосу, якого ми не спостерігаємо в системах космічних масштабів. Механічний контакт деформівних твердих тіл, що знаходяться у відносному русі, - суттєво неоднорідний та анізотропний фізичний об’єкт. Він одночасно виступає не тільки збуджувачем, але й центром синтезу когерентних форм руху в своїй оболонці. Система систем типу ядро – оболонка може вважатись прямою альтернативою хаосу. Відкрита нещодавно анізотропія реліктового космічного випромінювання [12] у цьому контексті свідчить про те, що варто вести мову не стільки про Великий вибух (Big Bang), скільки про Великий контакт (Big Contact).

Отже, на основі проведеного аналізу може бути зроблений попередній висновок про те, що об’єднання підходів, характерних для теоретичної гідродинаміки та експериментальної трибології, може в деякій мірі розв’язати певні ілюзії та міфи, характерні для сучасної фізики.

Література

1. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики / Н.Н. Никитин. – М.: Высшая школа, 1990. – 607 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука. – 1982. – 621 с.
3. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир. – 1989. – 510 с.
4. Дмитриев А.И. Многоуровневое моделирование процессов трения и износа на основе численных методов дискретной механики и феноменологической теории / А.И.Дмитриев, А.Ю. Смолин, В.Л. Попов, С.Г. Псахье // Физическая мезомеханика. – 2008. – Т.11. – С. 15–24.
5. Вайнштейн С.И. О происхождении магнитных полей в астрофизике (Турбулентные механизмы “динамо”) / С.И. Ванштейн, Я.Б. Зельдович // Успехи физических наук. – 1972. – Т.106, вып. 3. – С. 431–457.
6. Молчанов С.А. Конематическое динамо в случайном потоке / С.А. Молчанов, Д.Д. Соколов // Успехи физических наук. – 1985. – Т.145, вып. 4. – С. 593–628.
7. Зельдович Я.Б. Гидромагнитное динамо как источник планетарного, солнечного и галактического магнетизма / Я.Б. Зельдович, А.А. Рузмайкин // Успехи физических наук. – 1987. – Т.152, вып. 2. – С. 263–284.
8. Charbonneau P. Dynamo Models of the Solar Cycle // Living Rev. Solar Phys. – 2010. – №7, №3. – С. 1–91.
9. Соколов Д.Д. Динамо: на пути от астрофизических моделей к лабораторному эксперименту / Д.Д. Соколов, Р.А. Степанов, П.Г. Фрик // Успехи физических наук. – 2014. – Т. 184, №3. – С. 313–335.
10. Физическая энциклопедия. В 5-ти томах. Т.5 / Под ред. А.М. Прохорова. – М.: Большая российская энциклопедия. – 1999. – 760 с.
11. Паули В. Теория относительности / В. Паули. – М.: Наука. – 1991. – 328 с.
12. Смут Дж. Ф. Анизотропия реліктового излучения: открытие и научное значение / Дж. Ф. Смут // Успехи физических наук. – 2007. – Т. 177, №12. – С. 1294–1318.
13. Заспа Ю.П. Внутренний синтез движений и динамические характеристики внешнего трения / Ю.П. Заспа // Трение и износ. – 2011. – Т. 32, №3. – С. 233–247.
14. Заспа Ю.П. Когерентная трибодинамика / Ю.П. Заспа // Трение и износ. – 2012. – Т.33, №6. – С. 659–674.
15. Заспа Ю.П. Конкуренция мод и автомодуляционная неустойчивость в динамике когерентного трения / Ю.П. Заспа // Трение и износ. – 2013. – Т. 34, №4. – С. 415–427.
16. Заспа Ю.П. Каскадный транспорт энергии збурень в системах динамічної контактної взаємодії / Ю.П. Заспа, С.Г. Костогриз // Вісник Хмельницького нац-го у-ту. Технічні науки. – 2015. – №1 (221). – С.

47–52.

17. Moffatt H.K., Tsinober A, Helicity in Laminar and Turbulent Flow // Annu. Rev. Fluid Mech. – 1992. – V.24. – P. 281–312.
18. Berger M.A. Topological methods in astrophysics // Phil. Trans. R. Soc. Lond A. – 2001. – V. 359. – P. 1439–1448.
19. Эдди Дж. История об исчезнувших солнечных пятнах / Дж. Эдди // Успехи физических наук. – 1978. – Т.125, вып. 2. – С. 315–329.
20. Рабинович М.И. Введение в теорию колебаний и волн / М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. – М.: Наука. – 1984. – 563 с.
21. Кононович Э.В. Частотно-временной анализ рядов солнечной активности / Э.В.Кононович, И.В. Миронова, В.А. Батулин // Электронный научный журнал “Исследовано в России”. – 2006. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/182.pdf>
22. Солнечная система [Электронный ресурс] / – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_система
23. Garcia R.A., Turck-Chieze S., Jimenez-Reyes S.J., Ballot J., Palle P.L., Eff-Darwich A., Mathur S., Provost J. Tracking solar gravity modes: the dynamics of the solar core // Science.-2007, V.316, 1591–1593
24. Garcia R.A., Mathur S., Ballot J., Eff-Darwich A., Jimenez-Reyes S.J., Korzenik S.G. Influence of Low-Degree High-Order p-Mode Splittings on the Solar Rotation Profile // Solar Phys.-2008, v.251, 119–133
25. Wang T., Song X., Xia H.H. Equatorial anisotropy in the inner part of Earth’s inner core from autocorrelation of earthquake coda // Nature Geoscience.-2015, V.8, 224–227
26. Орехов Д.И. Методическое пособие по физике нейтрино [Электронный ресурс] / Д.И. Орехов. – Режим доступа: http://neutrino-history.narod.ru/neutrino_main.htm
27. Silvera I.F., Cole J.W. Metallic Hydrogen: The Most Poverful Rocket Fuel Yet to Exist // J. of Physics: Conference Series.-2010, V.215, 1–9
28. Кичатинов Л.Л. Дифференциальное вращение звезд / Л.Л. Кичатинов // Успехи физических наук. – 2005. – Т.175, №5. – С. 475–494.
29. Вольфенштейн Л. Нейтринные осцилляции и солнечные нейтрино / Л. Вольфенштейн, Ю.У. Бейер // Успехи физических наук. – 1990. – Т. 160, вып. 10. – С. 155–171.
30. Дебрин А.В. Поиски магнитного момента нейтрино / А.В. Дебрин // Физика элементарных частиц и атомов ядра. – 2001. – Т. 32, вып. 3. – С. 734–751.
31. Смирнов О.Ю. Неускорительная нейтринная физика / О.Ю. Смирнов // Письма в ЭЧАЯ. А. – 2012. – Т.9, №9. – 10. – С. 70–128.
32. Сомов Б.В. Физические процессы в атмосфере Солнца, вызываемые вспышками / Б.В. Сомов, С.И. Сыроватский // Успехи физических наук. – 1976. – Т.120, вып.2. – С. 217–257.
33. Кадомцев Б.Б. Перезамыкание магнитных силовых линий / Б.Б. Кодомцев // Успехи физических наук. – 1987. – Т. 151, вып.1. – С. 3–29.
34. Марочник Л.С. Проблема спиральной структуры галактик / Л.С. Марочник, А.А. Сучков // Успехи физических наук. – 1974. – Т. 112, вып.2. – С. 275–308.
35. Ефремов Ю.Н., Корчагин В.И., Марочник Л.С., Сучков А.А. Современные представления о природе спиральной структуры галактик // Успехи физических наук.-1989, т.157, вып.4, 599-629
36. Солнечная активность // Электронный ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_активность
37. Троянские астероиды Юпитера // Электронный ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Троянские_астероиды_Юпитера
38. Главный пояс астероидов // Электронный ресурс: <http://deepskying.com/glavnyj-poyas-asteroidov/>
39. Семейство Хильды // Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Семейство_Хильды](https://ru.wikipedia.org/wiki/Семейство_Хильды)
40. Пояс Койпера // Электронный ресурс: http://nashavselenaya.brogpost.com/2012/02/blog-post_26.html

Рецензія/Peer review : 4.10.2015 р.

Надрукована/Printed :1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ПРИ ХОЛОДНОМУ ФОРМУВАННІ ВНУТРІШНІХ ШЛІЦЬОВИХ ПОВЕРХОНЬ В ГЛУХИХ ОТВОРАХ

В роботі уточнено розрахунок використаного ресурсу пластичності при холодному формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах. При розрахунку використаного ресурсу пластичності враховано вплив об'ємності схеми напруженого стану. Отримані в роботі результати можуть бути застосовані для оцінки граничного формозмінення в подібних технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану.

Ключові слова: використаний ресурс пластичності, граничне формозмінення, шліцьові поверхні.

I.Y. KYRYTSYA, V.EV. PERLOV
Vinnytsia national technical University

FEATURES OF THE CALCULATION OF THE USED RESOURCE OF PLASTICITY AT COLD FORMING INTERNAL SPLINE SURFACES IN BLIND HOLES

Abstract – The calculation of the used resource of plasticity at cold forming internal spline surfaces in blind holes is refined in this work. At calculation of the used resource of plasticity takes into account influence of volume of the schema of the stress state. The obtained results can be applied to evaluate the limiting deformation in such processes, involving a volumetric scheme of the stress state.

Keywords: used resource of plasticity, limiting deformation, spline surfaces.

Формування внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах холодним пластичним деформуванням забезпечує якість готових виробів, що використовуються в гідротрансмісії тихохідних машин (рис. 1).

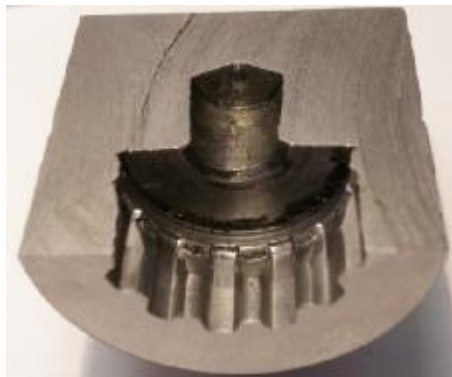


Рис. 1. Деталь із внутрішньою шліцьовою поверхнею в глухому отворі

Варто відмітити, що при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором реалізується об'ємний напружений стан.

В даній роботі досліджується процес формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором, в якому найбільш значущим параметром, що відповідає за якість виробів, прийнято використаний ресурс пластичності, тому метою роботи є уточнення розрахунку використаного ресурсу пластичності в технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану.

За результатами досліджень отриманими в роботах [1-3]: вивчено механіку процесу формування шліцьової поверхні; сформовано технологічний паспорт матеріалу (сталь 20Х), з якого виготовляються деталі з внутрішньою шліцьовою поверхнею; використовуючи методику запропоновану в роботі [4] розраховано і досліджено напружено-деформований стан в різних областях формуемого виробу з метою оцінки використаного ресурсу пластичності; визначено, що найсприятливішою, з точки зору деформування заготовки без руйнування та використаного ресурсу пластичності (ψ), є комбінована схема навантаження ($\psi = 0,3$ – поблизу центральної частини впадини шліцьової поверхні; $\psi = 0,31$ – поблизу зуба шліцьової поверхні).

Із результатів розрахунків напружено-деформованого стану [3] випливає, що найбільш небезпечними областями, з точки зору руйнування, є області поблизу центральної частини впадини шліцьової поверхні – точки 1, 2, та поблизу зуба шліцьової поверхні $\theta = 30^\circ$ (див. рис. 2).

На діаграмі пластичності, в координатах граничний ступінь накопиченої інтенсивності деформації до моменту руйнування e_p , показник напруженого стану h , для областей, найбільш близьких до руйнування, побудували шляхи деформування характерних точок 1, 2 (рис. 3).



Рис. 2. Розрахункова схема

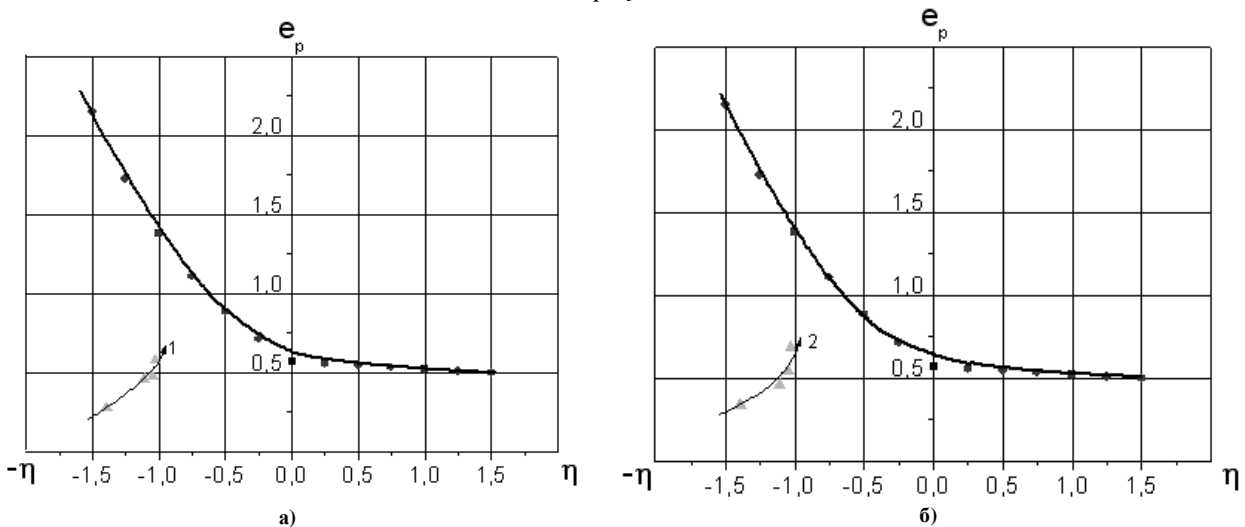


Рис. 3. Діаграма пластичності сталі 20X і шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором а) т. 1; б) т. 2

Використаний ресурс пластичності ψ розраховували за критерієм (1) запропонованим Г. Д. Делем, В. А. Огородніковим і В. Г. Нахайчуком

$$y = \int_0^{e_p} n \frac{e_u^{n-1}}{e_p(h)^n} de_u, \tag{1}$$

де $n = 1 + a \cdot \arctg \frac{dh}{de_u}$; e_u – інтенсивність деформацій; $e_p(h)$ – діаграма пластичності.

Для оцінки деформуємості заготовок потрібно мати інформацію про напружено-деформований стан протягом усього процесу формозмінення, цим зумовлена необхідність поетапного формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором, з можливістю зняття заготовки для дослідження після проходження через 2, 4, 6, 7 волокна.

В таблиці 1 наведені результати розрахунків використаного ресурсу пластичності для небезпечних з точки зору руйнування областей.

Таблиця 1

Результати розрахунків використаного ресурсу пластичності

№ волокна	2	4	6	7
ψ (точка 1 – поблизу впадини шліцьової поверхні)	0,14	0,3	0,32	0,41
ψ (точка 2 – поблизу впадини шліцьової поверхні)	0,17	0,3	0,36	0,48
ψ (поблизу зуба шліцьової поверхні $\theta = 30^\circ$)	0,19	0,58	0,69	0,78

В зв'язку з тим, що при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором реалізується об'ємний напружений стан, необхідно врахувати третій інваріант тензора напружень $I_3(T_\sigma)$.

Використовуючи методику запропоновану В. А. Огородніковим [5] для врахування впливу $I_3(T_\sigma)$ на величину граничної деформації, розраховували показник напруженого стану за критерієм (2)

$$c = \frac{\sqrt{I_3(T_S)}}{\sqrt{3I_2(D_S)}} = \frac{\sqrt[3]{s_1 s_2 s_3}}{s_u} \quad (2)$$

де $I_1(T_S)$ – перший інваріант тензора напружень; $I_2(D_S)$ – другий інваріант девіатора напружень; s_u – інтенсивність напружень.

Для різних значень показника η ($-2 \leq \eta \leq 0$), визначили $f(\eta)$ за функціональною залежністю наведеною в роботі [5]. Із виразу

$$f(h) = \frac{c}{\Delta h - h} \quad (3)$$

визначили Δh . Величина Δh визначає “зміщення” вздовж вісі h кривої $e_p^* = f(h)$, що побудована при $I_3(T_\sigma) \neq 0$ відносно кривої $e_p = f(h)$, побудованої при $I_3(T_\sigma) = 0$.

Таким чином, нами було введено поправку на діаграмі пластичності пов'язану з впливом показника χ (див. рис. 4).

Отримані результати по діаграмі пластичності сталі 20X з урахуванням показника χ використовували для розрахунку використаного ресурсу пластичності за критерієм (4)

$$y = \int_0^{e^*} (1+f) \frac{e_u^f de_u}{e_p^*[h(e_u)]^{1+f}}, \quad (4)$$

де $f = 0.2 \arctg \left(\frac{dh}{de_u} + \frac{dc}{de_u} \right)$.

В таблиці 2 наведені результати розрахунків використаного ресурсу пластичності по критерію (4), що враховує вплив третього інваріанту тензора напружень для небезпечних з точки зору руйнування областей.

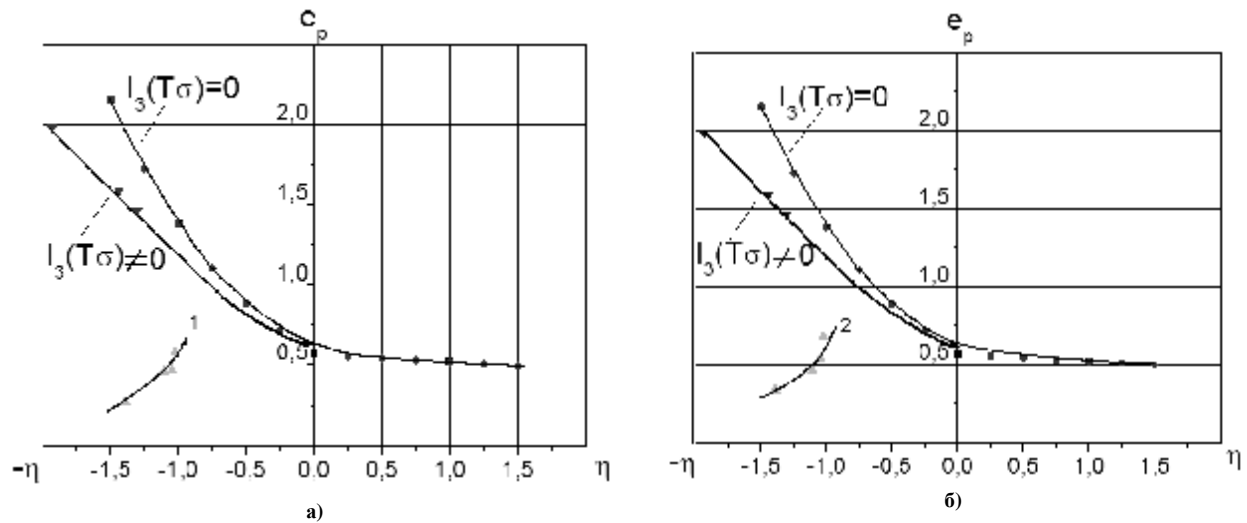


Рис. 4. Діаграма пластичності сталі 20X з урахуванням показника χ і шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором. а) т. 1; б) т. 2

Таблиця 2

Результати розрахунків використаного ресурсу пластичності

ψ	Волока № 2	Волока № 4	Волока № 6	Волока № 7
точка 1 – (поблизу впадини шліцьової поверхні)	0,2	0,36	0,4	0,5
точка 2 – (поблизу впадини шліцьової поверхні)	0,23	0,36	0,45	0,6
(поблизу зуба шліцьової поверхні $\theta = 30^\circ$)	0,25	0,64	0,75	0,84

Висновки

1. На основі аналізу напружено-деформованого стану оцінено використаний ресурс пластичності і визначені області найбільш близькі до руйнування: поблизу центральної частини впадини шліцьової поверхні та поблизу зуба шліцьової поверхні.

2. Уточнено розрахунок використаного ресурсу пластичності в процесі формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором. Використаний ресурс пластичності оцінено з урахуванням показників напруженого стану, що включають в себе три інваріанти тензора і девіатора напружень. Показано, що врахування третього інваріанта тензора напружень (I_3 (T_σ)) при оцінці використаного ресурсу пластичності приводить до пониження граничної до руйнування деформації, а відповідно до збільшення використаного ресурсу пластичності. Інформація про використаний ресурс пластичності дозволила рекомендувати, для підвищення продуктивності даного процесу, зменшення використаного ресурсу пластичності та збільшення величини коефіцієнту заповнюєності шліцьового профілю, проводити проміжний відпал та перейти до схеми деформування з обмеженою осью течією металу.

3. Отримані в роботі результати з метою оцінки використаного ресурсу пластичності можуть бути застосовані для оцінки граничного формозмінення в подібних технологічних процесах для виробів, що виготовляються із інших марок сталей шляхом моделювання відповідних процесів. Це твердження засноване на гіпотезі широко підтвердженій в роботах [5, 6]. Сутність цієї гіпотези заключається в тому, що шляхи деформування частинок матеріалу в координатах η (e_w) практично не залежать від властивостей матеріалу, а відповідно з'являється можливість моделювання подібних технологічних процесів з побудовою діаграм пластичності інших матеріалів.

Література

1. Кириця І. Ю. Процес формування внутрішніх шліцьових поверхонь у глухих отворах методом холодного пластичного деформування / І. Ю. Кириця // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 1. – С. 34–37.

2. Розенберг О. А. Деформируемость металла при формировании внутренних шлицевых поверхностей в глухих отверстиях методом холодного пластического деформирования (Сообщение 1) / О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко, И. Ю. Кирица // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. праць. – Краматорськ, 2007. – № 1(7). – С. 117–120.

3. Розенберг О. А. Деформируемость металла при формировании внутренних шлицевых поверхностей в глухих отверстиях методом холодного пластического деформирования (Сообщение 2) / О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко, И. Ю. Кирица // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. праць. – Краматорськ, 2008. – № 1(4). – С. 93–98.

4. Огородников В. А. Напряженно-деформированное состояние при формировании внутреннего шлицевого профиля методом обжатия на оправке / В. А. Огородников, И. Г. Савчинский, О. В. Нахайчук // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 12. – С. 31–33.

5. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.

6. Огородников В. А. Моделирование напряженного состояния в процессах объемного формоизменения на основании гипотезы о подобии путей деформирования / В. А. Огородников, М. А. Рвачев, В. Д. Покрас, О. Л. Гайдамак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1991. – № 11. – С. 2–4.

Рецензія/Peer review : 22.10.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сивак І.О.

ВПЛИВ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИВОДА РУКАВИЧНОГО АВТОМАТУ ТИПУ ПА

Ефективність роботи рукавичного автомата в значній мірі залежить від досконалості його привода, зокрема здатності привода зменшити динамічні навантаження, зумовлені несталом режимом його роботи (пуском та ін.) Враховуючи це, стаття присвячена аналізу впливу пускового моменту електродвигуна на динамічні навантаження привода рукавичного автомата типу ПА та удосконаленню привода з метою зниження динамічних навантажень. Запропоновано нову конструкцію привода з електромагнітною фрикційною муфтою, здатну знизити його динамічні навантаження, та теоретичні основи розрахунку динамічних навантажень привода рукавичного автомата. Запропонований метод динамічного аналізу привода рукавичного автомата дозволяє оцінити ефективність зниження пускового моменту електродвигуна та визначити раціональні його межі. Застосування запропонованого привода рукавичного автомата типу ПА з електромагнітною фрикційною муфтою дозволяє розширити технологічні можливості привода та підвищити ефективність його роботи. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових моделей рукавичних автоматів та інших типів в'язальних машин.

Ключові слова: привід рукавичного автомата, пусковий момент електродвигуна, динамічні навантаження привода, електромагнітна фрикційна муфта.

B.F. PIPA, A.V. CHABAN

Kyiv National University of Technology and Design

INFLUENCE OF STARTING MOMENT OF ELECTRIC MOTOR ON THE DYNAMIC LOADING OF DRIVE OF GLOVE AUTOMAT OF TYPE OF PA

Efficiency of work of glove automat largely depends on perfection of his drive, in particular from ability of drive to decrease the dynamic loading, caused by the unset his office (starting of and other) hours, Taking into account it, the article is sanctified to the analysis of influence of starting moment of electric motor on the dynamic loading of drive glove to the automat of type of STEP and improvement of drive with the purpose of decline of the dynamic loading. The new construction of drive with an electromagnetic friction muff, able to reduce his dynamic loading, and theoretical bases of calculation of the dynamic loading of drive of glove automat, is offered. The offered method of dynamic analysis of drive of glove automat allows to estimate efficiency of decline of starting moment of electric motor and define his rational limits. Application of the offered drive of glove automat of type of STEP with an electromagnetic friction muff allows to extend technological possibilities of drive and promote efficiency of his work. The results of researches can be drawn on at development of new models of glove automats and other types of knittings machines.

Keywords: drive of glove automat, starting moment of electric motor, dynamic loading of drive, electromagnetic friction muff.

Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи в'язальних машин, в тому числі і рукавичних автоматів, є зниження динамічних навантажень, що виникають під час несталого режиму роботи (пуск, гальмування, перемикання механізмів та ін.). Дослідження [1-4] показують, що динамічні навантаження суттєво впливають як на довговічність роботи в'язальних машин та автоматів, так і на якість продукції, що випускається. Тому проблема зниження динамічних навантажень є однією із актуальних проблем трикотажного машинобудування. Для розв'язання цієї проблеми важливим є розробка нових конструкцій приводів рукавичних автоматів, здатних знизити динамічні навантаження. Проте відсутність наукових основ і інженерних методів проектування таких приводів стримує вирішення існуючої проблеми.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано динаміку приводів рукавичних автоматів типу ПА та оцінку впливу пускового моменту електродвигуна на зниження динамічних навантажень привода. При вирішенні поставлених задач були використані сучасні методи теорій динаміки механічних систем з пружними елементами, пружності, опору матеріалів та теорії проектування в'язальних машин та автоматів.

Постановка завдання

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи рукавичних автоматів (підвищення продуктивності автоматів та якості виробів) шляхом удосконалення привода, стаття присвячена аналізу динаміки привода рукавичного автомата типу ПА та розробці конструкції привода, здатного знизити динамічні навантаження, зумовлені режимом його пуску.

Результати та їх обговорення

Аналіз існуючих конструкцій приводів рукавичних автоматів [1-5] показує, що з метою аналізу впливу параметрів рукавичного автомата його реальну конструкцію можливо представити у вигляді тримасової динамічної моделі. Однак для нашого випадку, коли мова йдеться про аналіз впливу пускового моменту електродвигуна на динамічні навантаження привода, враховуючи, що співвідношення клинопасових передач 2, 4 привода (рис. 1) значно перевищує 10 (приведена до валу електродвигуна жорсткість вказаних клинопасових передач становить 736 Нм/рад та 2,0 Нм/рад [2] відповідно) рукавичний автомат типу ПА (ПА-8-33), згідно з рекомендаціями [6], можливо представити двомасовою динамічною моделлю з параметрами:

$$T_1 = 6,14 \text{ Нм}; T_2 = 2,5 \text{ Нм}; J_1 = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ кгм}^2; J_2 = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ кгм}^2; C_{12} = 2,0 \text{ Нм/рад}, \quad (1)$$

де T_1 - пусковий момент електродвигуна привода;
 T_2 - момент сил опору механізмів рукавичного автомата;
 J_1 - момент інерції ведучої маси привода (ротор електродвигуна, перша клинопасова передача, редуктор, ведучий шків другої клинопасової передачі);
 J_2 - момент інерції веденої маси (інші механізми рукавичного автомата);
 C_{12} - жорсткість клинових пасів другої клинопасової передачі привода.

Згідно з [6], максимальна величина динамічних навантажень T_{12max} , що виникають в приводі рукавичного автомата (пружній в'язі C_{12}) під час пуску, становить:

$$T_{12max} = C + a, \tag{2}$$

де

$$C = \sqrt{A^2 + B^2}; \tag{3}$$

A, B - постійні інтегрування;

a - постійна складова моменту сил пружності.

Для нашого випадку (двомасова динамічна модель) [6]:

$$A = T_2 - T_1; \quad B = \frac{\mathcal{R}_{(12)t_1}}{b}, \tag{4}$$

де

$$\mathcal{R}_{(12)t_1} = T_{(12)0} = T_1 \sqrt{\frac{C_{12}}{J_1}} \sin\left(\sqrt{\frac{C_{12}}{J_1}} t_1\right); \tag{5}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{J_1}{C_{12}}} \arccos\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right); \tag{6}$$

$$b = \sqrt{\frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 J_2}}; \tag{7}$$

$$a = \frac{J_2 T_1 + J_1 T_2}{J_1 + J_2}. \tag{8}$$

Підставивши одержані результати в рівняння (2), знаходимо:

$$T_{12max} = \sqrt{(T_2 - T_1)^2 + \left[\frac{T_1 \sqrt{\frac{C_{12}}{J_1}} \sin\left\{ \sqrt{\frac{C_{12}}{J_1}} \cdot \sqrt{\frac{J_1}{C_{12}}} \arccos\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \right\}}{\sqrt{\frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 J_2}}}} \right]^2} + \frac{J_2 T_1 + J_1 T_2}{J_1 + J_2}. \tag{9}$$

Після перетворень вираз (9) остаточно приймає вигляд:

$$T_{12max} = \sqrt{(T_2 - T_1)^2 + \frac{T_1^2 J_2 \sin^2\left[\arccos\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)\right]}{J_1 + J_2}} + \frac{J_2 T_1 + J_1 T_2}{J_1 + J_2}. \tag{10}$$

Оскільки задачею досліджень є аналіз впливу пускового моменту електродвигуна на динамічні навантаження привода рукавичного автомата, підставивши його параметри ($T_2 = 2,5$ Нм; $J_1 = 5,1 \cdot 10^{-3}$ кгм²; $J_2 = 0,38 \cdot 10^{-3}$ кгм² [2]) в рівняння (10), маємо:

$$T_{12max} = \sqrt{(2,5 - T_1)^2 + \frac{0,38 T_1^2 \sin^2\left[\arccos\left(1 - \frac{2,5}{T_1}\right)\right]}{5,48}} + \frac{0,38 T_1 + 12,75}{5,48}. \tag{11}$$

Використовуючи одержану залежність (11), оцінимо вплив пускового моменту електродвигуна на величину пускових динамічних навантажень привода. Враховуючи, що для рукавичного автомата ПА-8-33 $T_1 = T_{1max} = 6,14$ Нм, та прийнявши можливе зниження пускового моменту електродвигуна до величини $T_1 = T_{1min} = 1,1 \cdot T_2 = 1,1 \cdot 2,5 = 2,75$ Нм, з виразу (11) знаходимо: $T_{12max} = 6,62$ Нм; $T_{12min} = 3,28$ Нм.

Таким чином існує реальна можливість шляхом зниження пускового моменту електродвигуна знизити динамічні навантаження рукавичного автомата типу ПА практично в 2 рази.

Для реалізації цього висновку автори пропонують модернізувати привід рукавичного автомата

шляхом оснащення його електромагнітною фрикційною муфтою (рис. 1). При цьому пропонується електромагнітна фрикційна муфта з електромагнітом, що містить обмотку з двома секціями, встановлену на валу електродвигуна, що дозволяє здійснювати пуск рукавичного автомата шляхом вмикання електромагнітної фрикційної муфти в два етапи: спочатку вмикається лише одна (перша) секція обмотки, а потім, через деяку затримку часу, вмикається друга секція обмотки.

Таким чином при вмиканні першої секції обмотки крутний момент електромагнітної фрикційної муфти здійснює лише попереднє напруження пружних в'язей привода (обертальні маси рукавичного автомата не приходять в рух). При подальшому вмиканні другої секції обмотки відбувається остаточний пуск рукавичного автомата при обмеженому пусковому моменту електродвигуна.

Наявність двох секцій обмотки електромагніту забезпечує здійснення пуску рукавичного автомата в режимі попереднього напруження пружних в'язей привода та обмеженні пускового моменту електродвигуна, що призводить до ефективного зниження пускових динамічних навантажень рукавичного автомата [6].

Запропонований привід рукавичного автомата містить електродвигун 1, з'єднаний з ведучим шківом клинопасової передачі 2, що з'єднує електродвигун 1 з редуктором 3. На вихідному валу редуктора 3 закріплений ведучий шків клинопасової передачі 4, що кінематично з'єднує редуктор 3 із приводним валом 5, на кінцях якого жорстко закріплені зірочки 6 і 7 ланцюгових передач механізмів рукавичного автомата. До складу привода входить електромагнітна фрикційна муфта 8, що містить ведучу півмуфту 9 з дисками 10, встановлену на валу електродвигуна 1 з можливістю осевого переміщення, ведена півмуфта 11 з дисками 12, жорстко з'єднану з ведучим шківом клинопасової передачі 2, та електромагніт 13 з обмоткою, що містить дві секції: першу 14 і другу 15.

Принцип роботи привода полягає в наступному. Одночасно з вмиканням електродвигуна 1 вмикається перша секція 14 обмотки електромагніту 13. Вал електродвигуна 1 починає обертатися. При цьому ведуча півмуфта 9 з дисками 10 під дією сили електромагніту 13 притискується до дисків 12 веденої півмуфти 11. Момент сил тертя, що виникає в зоні взаємодії дисків 10 з дисками 12, здійснює попереднє напруження пружних в'язей привода та вибір зазорів в його передачах (сили електромагніту 13, в якому підключена лише перша секція 14 обмотки недостатньо для остаточного пуску рукавичного автомата і ведучий шків клинопасової передачі 2 не приходять в обертальний рух). Подальше вмикання другої секції 15 обмотки електромагніту 13 призводить до збільшення моменту електромагнітної фрикційної муфти, що змушує ведену півмуфту 11, а з нею і ведучий шків клинопасової передачі 2 прийти в обертальний рух. Обертальний рух ведучого шківа клинопасової передачі 2 передається ведучому валу редуктора 3 і далі за допомогою клинопасової передачі 4 приводному валу 5, на кінцях якого жорстко закріплені зірочки 6 і 7. Зірочки 6, 7 приводять в рух механізми рукавичного автомата, що необхідно для в'язання виробів. Виникаючі при цьому пускові динамічні навантаження в результаті попереднього напруження передач привода та обмеження пускового моменту електродвигуна суттєво знижуються. Як показують вищенаведені розрахунки, при запропонованій модернізації привода рукавичного автомата ПА-8-33 його пускові динамічні навантаження знижуються в 2 і більше разів.

Висновки

Аналіз впливу пускового моменту електродвигуна на динамічні навантаження привода рукавичного автомата показує, що пусковий момент суттєво впливає на величину динамічних навантажень.

Зниження пускового моменту електродвигуна привода в допустимих межах дозволяє знизити динамічні навантаження рукавичного автомата ПА-8-33 в 2 рази.

Запропонований метод динамічного аналізу привода рукавичного автомата дозволяє оцінити ефективність зниження пускового моменту електродвигуна та визначити раціональні його межі.

Застосування запропонованого привода рукавичного автомата типу ПА з електромагнітною фрикційною муфтою дозволяє розширити технологічні можливості привода та підвищити ефективність його роботи.

Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових моделей рукавичних автоматів

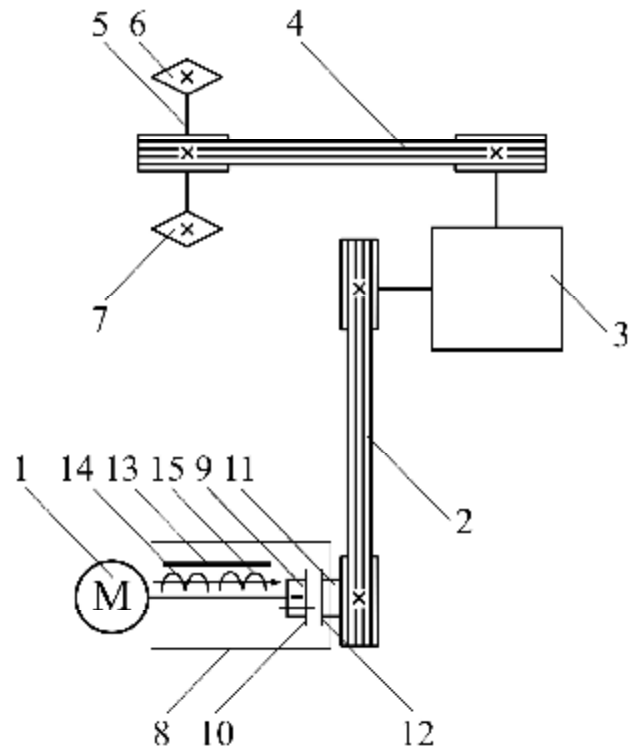


Рис. 1. Кінематична схема рукавичного автомата ПА-8-33 з електромагнітною фрикційною муфтою

та інших типів в'язальних машин.

Литература

1. Хомяк О.Н., Пипа Б.Ф. Повышение эффективности работы вязальных машин.– М.: Легпромиздат, 1990, 208 с.
2. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин та автоматів. – К: КНУТД, 2008. – 250 с.
3. Присяжнюк П.А. Наладка и эксплуатация плосковязальных трикотажных машин.– К.: Техніка, 1983, 136 с.
4. Шляхова Э.Н., Иванов Н.А., Исопенко Р.Н. Новое оборудование перчаточного производства.–Л.: Легкая индустрия, 1978, 96с.
5. Автомат перчаточный марки ПА–8–33. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.– Черновцы: 1987, 89 с.
6. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах. – К.: Наукова думка, 1986. – 288 с.

Рецензія/Peer review : 19.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. А.С. Зенкін

УДК 667.64:678.026

А.В. БУКЕТОВ, А.В. АКИМОВ, Д.А. ЗИНЧЕНКО
Херсонская государственная морская академия

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДИАНОВОЙ СМОЛЫ, ОТВЕРЖДЕННОЙ ПОЛИЭТИЛЕНПОЛИАМИНОМ, С ДОБАВЛЕНИЕМ ПЛАСТИФИКАТОРА–АНТИПИРЕНА ТРИХЛОРЭТИЛФОСФАТА

В работе было проведено исследование физико-механических свойств эпоксидиановой смолы, отверждаемой полиэтиленполиамином с добавлением пластификатора трихлорэтилфосфата, который является антипиреном и позволяет обеспечить снижение горючести полученного композиционного материала. В результате анализа полученных данных выбрана оптимальная концентрация пластификатора и температура, при которой происходит шивание материалов с улучшенными физико-механическими свойствами и пониженной горючестью.

Ключевые слова: эпоксидный композит, полимер, полиэтиленполиамин, трихлорэтилфосфат, физико-механические свойства.

A.V. BUKETOV, A.V. AKIMOV, D.A. ZINCHENKO
Kherson state maritime academy

STUDY PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY RESIN SOLIDIFICATION WITH POLIETILENPOLIAMIN THE ADDITION OF PLASTICIZER-ANTIPYRENE TRICHLOROETHYL PHOSPHATE

Abstract – The aim of the research – to obtain thermosetting epoxy resin ED-20 is a low viscosity at a controlled rate of curing, the polymerization can form a structure providing improved physical and mechanical properties of materials and the transition to class nonflammable. Creation of polymer materials with reduced flammability and improved physical and mechanical properties (resilience, elastic modulus and flexural strength) that are used to protect mechanical and power equipment is the most time consuming and problematic task. It's not just search for the best flame retardant for the material and reducing its flammability, as well as the preservation and improvement of the whole complex of properties of the polymer.

Thus, an analysis of the data selected optimum concentration of the plasticizer and the temperature at which the crosslinking material with improved physical and mechanical properties and reduced flammability

Keywords: epoxy composite polimer, polyethylene polyamide, trichloroethyl phosphate, physical and mechanical properties.

Постановка проблемы

К наиболее широко применяемым терморезактивным связующим относятся эпоксидные полимеры. Такие материалы имеют сложную трехмерную молекулярную структуру, которая обеспечивает полимеру высокую жесткость, хорошую теплостойкость и стойкость к действию агрессивных сред. Между тем, как полимеры, имеющие сетчатую структуру, они характеризуются невысокой ударной устойчивостью и низким сопротивлением к трещинообразованию [1, 2]. Основными недостатками эпоксидных полимеров являются легкая воспламеняемость и жесткость полимерной цепи, обуславливающая низкие устойчивости к статическому и динамическому изгибу [2, 3].

Для снижения пожарной опасности помимо активных средств предупреждения и защиты от развития очага пожара, в конструции должна использоваться пассивная защита, затрудняющая возникновение и предотвращающая развитие очага пожара, т.е. должны применяться материалы, имеющие низкую пожарную опасность [4, 5]. Таким образом, создание полимерных материалов с пониженной

горючестью и повышенными физико-механическими свойствами, которые применяются для защиты механического и энергетического оборудования, представляет собой весьма актуальную задачу. Это не только поиск оптимального замедлителя горения для конкретного материала и снижение его горючести, а также сохранение и улучшение всего комплекса свойств полимера.

Анализ последних исследований и публикаций

На сегодня широко и эффективно используют композиционные материалы (КМ) на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587-84) и отвердителя полиэтиленполиамины ПЭПА (ТУ 6-05-241-202-78) [2, 4]. Предварительно установлено, что оптимальным содержанием отвердителя ПЭПА для отверждения ЭД-20 является 10 масс.ч. отвердителя на 100 масс.ч. эпоксидиановой смолы [6, 7].

Использование эпоксидных смол в различных отраслях техники в качестве клеев, огне- и коррозионностойких покрытий, компаундов и связующих в производстве композиционных материалов предопределяет поиск новых модифицирующих добавок для обеспечения эпоксидным композитам пониженной горючести и высоких деформационно-прочностных свойств, удовлетворяющих требованиям большинства отраслей промышленности [2]. Снижение воспламеняемости и горючести полимеров и создание пожаробезопасных материалов для элементов энергетического оборудования – актуальная проблема, требующего неотложного решения.

Для снижения горючести эпоксидных полимеров, относящихся к классу карбонизирующихся материалов, в качестве замедлителей горения эффективнее использовать фосфорсодержащие соединения, инициирующие процессы карбонизации. Как показал проведенный анализ, для решения поставленной проблемы в качестве модифицирующих добавок можно использовать пластификатор-антипирен трихлорэтилфосфат (ТХЭФ), одновременно пластифицирующий эпоксидную матрицу и снижающий ее горючесть. В качестве отвердителя эпоксидного олигомера применялся полиэтиленполиамин (ПЭПА).

В связи с этим применение ТХЭФ, содержащего в своем составе ингибиторы горения, такие как фосфор Р и хлор Сl, оказывает влияние на процессы структурирования полимера при воздействии на него повышенных температур, что позволяет нивелировать недостатки эпоксидных полимеров – их легкую воспламеняемость и высокую горючесть.

Легкая воспламеняемость эпоксидных смол обусловлена тем, что продуктами деструкции отвержденной эпоксидной смолы являются летучие продукты, которые содержат значительное количество горючих соединений (ацетон, оксид углерода, ацетальдегид, формальдегид). Вместе с тем, при воздействии повышенных температур при пиролизе эпоксидных смол формируется карбонизированный остаток. Его образование является результатом того, что эпоксидные олигомеры, отвержденные аминами, при воздействии температур склонны к дегидратации, вследствие отрыва атома водорода от ароматического и алифатического звеньев цепи, с последующей конденсацией углеродных остатков и образованием квазиграфитовой структуры [4].

Поэтому весьма эффективным методом снижения горючести является использование замедлителей горения (ЗГ), оказывающих влияние на процессы структурирования полимера при воздействии на него повышенных температур. Применение соединений, которые катализируют пиролитические процессы, способствующие коксообразованию, также обеспечивает снижение загрязнения окружающей среды. К таким соединениям для эпоксидных смол относятся фосфорсодержащие ЗГ [2], в том числе трихлорэтилфосфат (ТХЭФ), который одновременно с влиянием на процессы при пиролизе и горении, изменяют технологические и эксплуатационные свойства композитов, оказывая пластифицирующее действие.

Пластификация сетчатых полимеров является одним из методов их модификации. Химическое строение, структура и физическое состояние пластификатора влияет на механизм пластификации полимера и его эффективность.

Наличие в ТХЭФ ингибитора горения – фосфора Р, может способствовать структурированию эпоксидного полимера и увеличивает коксообразование. Пиролиз ТХЭФ происходит в температурном интервале, близком к температуре разложения эпоксидного полимера, что обеспечивает влияние продуктов их разложения на деструкцию эпоксидной композиции, вследствие чего они становятся эффективными антипиренами для эпоксидного полимера [4].

Выбор пластификатора проводили по показателю устойчивости к динамическому изгибу (ударной вязкости), как наиболее отражающему влияние пластификатора на эластические свойства композиции и по показателю, характеризующему пожароопасность полимеров – кислородному индексу (КИ). КИ для эпоксидиановой смолы ЭД-20 составляет 19 % об.

По данным критериям выбора рациональным является содержание пластификатора в количестве 10...40 масс.ч., так как при этом достигаются более высокие показатели ударной вязкости, КИ, что обеспечивает переход материалов в класс трудногораемых. При содержании в КМ 100 масс. ч. ЭД-20 и увеличении содержания ТХЭФ в композиции от 10 до 40 масс.ч., КИ возрастает от 21 до 27 % об [2, 3].

При дальнейшем увеличении содержания пластификатора будет снижаться ударная вязкость и происходить миграция пластификатора на поверхность отвержденного образца.

Известно [8], что одним из важных направлений улучшения межфазового взаимодействия при структурообразовании КМ и, как следствие, повышения их физико-механических и эксплуатационных характеристик является предварительная обработка ингредиентов композитов внешними энергетическими

полями. В этом плане перспективным является использование ультразвуковой обработки (УЗО) эпоксидных композиций до введения отвердителя, что обеспечивает активацию процессов структурообразования [9, 10].

Кавитационные процессы, которые происходят в композиции при УЗО, приводят к активации эпоксидных макромолекул и дополнительному снижению вязкости системы. При этом происходит равномерное распределение по объему вводимого в ЭД-20 пластификатора ТХЭФ (за счет диспергирования), а также образование свободных радикалов (за счет кавитационных процессов).

Цель работы

Целью работы является получение реактопластов на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 низкой вязкости с регулируемой скоростью отверждения, способных при полимеризации формировать структуру, обеспечивающую улучшенные физико-механические свойства и переход материалов в класс трудногораемых.

Материалы для исследования

Исследованы составы на основе эпоксидной диановой смолы марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-93) (рис. 1) с молекулярной массой 360...470, содержащей 21,5 % эпоксидных групп [11]. В качестве отвердителя эпоксидного олигомера применяли отвердитель аминного типа – полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ 6-02-594-85) (рис. 2), способный формировать трехмерную сетчатую структуру в отсутствии нагрева. Химическая формула ПЭПА – $H_2N(CH_2CH_2NH)_nH$, где $n = 1...4$, динамическая вязкость – 0,9 Па·с.

В качестве пластификатора применяли трихлорэтилфосфат (ТХЭФ) (ТУ 6-05-1611-78). Молекулярная масса ТХЭФ – 285,49; внешний вид – низковязкая прозрачная маслянистая жидкость; химическая формула – $C_6H_{12}Cl_3O_4P$ (рис. 3).

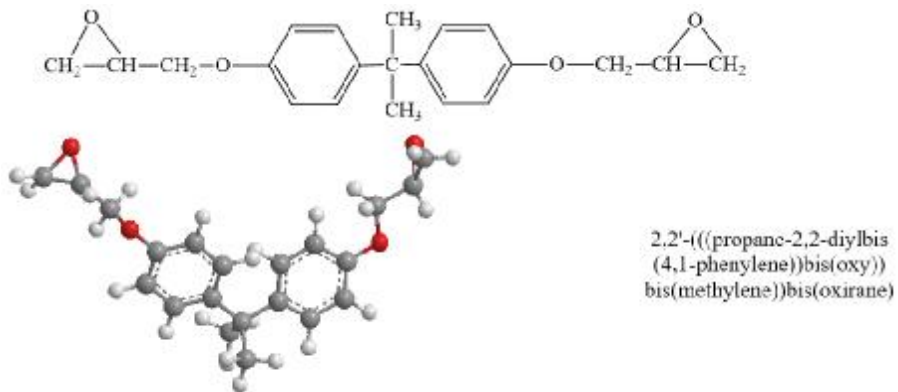


Рис. 1. Оптимизированная структура модели фрагмента эпоксидиановой смолы ЭД-20

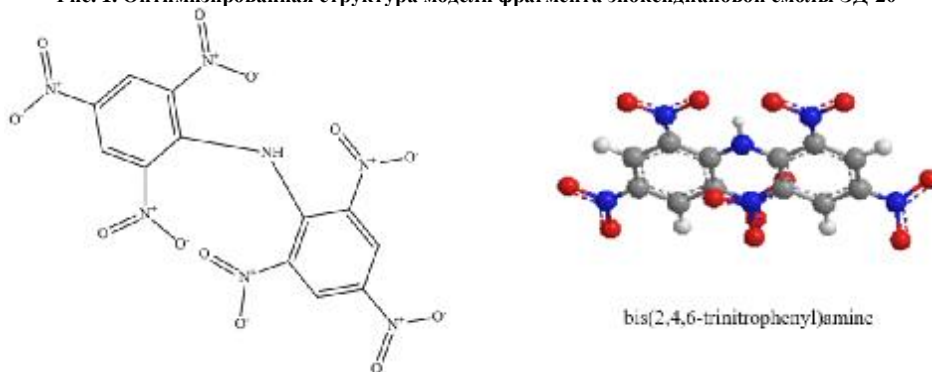


Рис. 2. Оптимизированная структура модели фрагмента отвердителя ПЭПА



Рис. 3. Оптимизированна структура модели фрагмента пластификатора ТХЭФ

ТХЭФ – трис-(2-монохлорэтил)фосфат – полный эфир ортофосфорной кислоты и этиленхлоргидрина; эффективный антипирен, значительно улучшающий противопожарные свойства материалов. ТХЭФ образует однородную физическую смесь с полимерами и не вступает с ними в химическую реакцию, что усиливает огнезащитный эффект. ТХЭФ хороший пластификатор, присутствие атомов хлора в составе трихлорэтилфосфата не уменьшает его совместимость с полимерами. При введении в

композицію ТХЭФ получают самозатухающийся материал, горение которого быстро прекращается после нивелирования действия открытого пламени.

Технология формирования КМ и методы исследования

Эпоксидное связующее формируют по следующей технологии: дозирование компонентов, гидродинамическое совмещение пластификатора и эпоксидной диановой смолы ЭД-20 до получения однородной смеси и последующего полного растворения добавки в течение времени $\tau = 2 \pm 0,1$ мин при комнатной температуре $T = 298 \pm 2$ К, ультразвуковая обработка продолжительностью $\tau = 2 \pm 0,1$ мин, введение отвердителя ПЭПА и гидродинамическое совмещение компонентов в течение времени $\tau = 2 \pm 0,1$ мин, отверждение композиции. Отверждение КМ проводили по экспериментально установленному режиму: формирование образцов и их выдержка в течение $\tau = 12,0 \pm 0,1$ ч при температуре $T = 298 \pm 2$ К, нагрев со скоростью $v = 3$ К/мин до выбранных температур сшивания $T = (373; 393; 413; 433; 453) \pm 2$ К, выдержка образцов при данной температуре в течение времени $t = 2,0 \pm 0,05$ ч, медленное охлаждение до температуры $T = 298 \pm 2$ К. С целью стабилизации структурных процессов в матрице образцы выдерживали в течение времени $t = 24$ ч на воздухе при температуре $T = 298 \pm 2$ К с последующим проведением экспериментальных исследований.

Разрушающие напряжения и модуль упругости при изгибе определяли в соответствии с ГОСТ 4648-71 и ГОСТ 9550-81 соответственно. Параметры образцов: длина $l = 120 \pm 2$ мм, ширина $b = 15 \pm 0,5$ мм, высота $h = 10 \pm 0,5$ мм.

Ударную вязкость определял по методу Шарпи в соответствии с ГОСТ 4647-80 на маятниковом копре МК-30 при температуре $T = 298 \pm 2$ К и относительной влажности $d = 50 \pm 5$ %. Использовали образцы размером $(63,5 \times 12,7 \times 12,7) \pm 0,5$ мм.

Отклонение значений при исследованиях показателей физико-механических свойств КМ составляло 4...6 % от номинального.

Результаты исследований и их обсуждения

При формировании матрицы с повышенными физико-механическими свойствами была установлена следующая последовательность гидродинамического совмещения и массовый состав компонентов, которая схематически изображена на рис. 4. Сначала проводили гидродинамическое совмещение эпоксидного олигомера 100 масс.ч. ЭД-20 с пластификатором ТХЭФ (10, 20, 30 и 40 масс.ч.), затем их УЗО, после чего в полученный состав вводили отвердитель ПЭПА из расчета на концентрацию ЭД-20, а именно 10 масс.ч. Полученные в результате гидродинамического смешения композиции выдерживали в течение времени $\tau = 12$ ч при комнатной температуре, после чего сшивали в термическом шкафу при наперед заданных температурах (в течение времени $\tau = 2$ ч). После этого полученные образцы выдерживали $\tau = 24$ ч при комнатной температуре, затем проводили исследование физико-механических свойств разработанных материалов.

Результаты предварительного исследования адгезионных свойств исследуемых композитов показали, что оптимальные их значение наблюдали при температурах сшивания $T = 393$ и $T = 413$ К.

На первом этапе проводили экспериментальные исследования физико-механических свойств, а именно: ударной вязкости (W , кДж/м²), модуля упругости (E , ГПа) и разрушающих напряжений (σ_{32}) при изгибе для определения оптимального содержания пластификатора ТХЭФ в матрице на основе эпоксидного олигомера ЭД-20, отверждаемой ПЭПА при указанных температурах сшивания. Результаты проведенных исследований приведены на рис. 5 и 6.

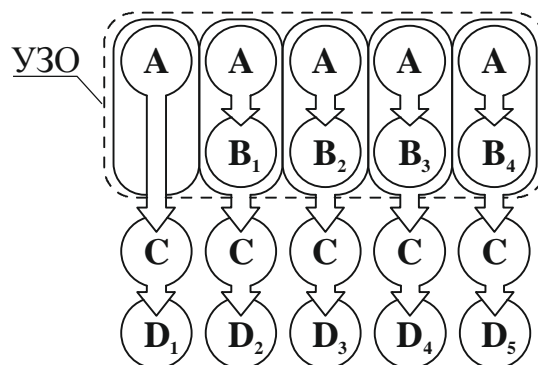


Рис. 4. Последовательность этапов гидродинамического совмещения и массовая часть компонентов: А – 100 масс.ч. ЭД-20; В₁, В₂, В₃, В₄ – 10, 20, 30, 40 масс.ч. ТХЭФ соответственно; С – 10 масс.ч. ПЭПА; D₁, D₂, D₃, D₄, D₅ – полученные в результате гидродинамического смешения композиции; УЗО – ультразвуковая обработка.

Установлено, что разрушающее напряжение при изгибе для эпоксидной матрицы с температурой сшивания $T = 393$ К составляет $\sigma_{изг} = 48,2$ МПа (рис. 5, кривая 3). При введении пластификатора ТХЭФ в количестве $q = 20...30$ масс.ч. наблюдаются максимальные значения $\sigma_{изг\ max} = 52,2...54,1$ МПа, а при концентрации пластификатора $q = 40$ масс.ч. значение разрушающих напряжений резко уменьшаются до

$\sigma_{уизг} = 38,3$ МПа. Увеличение концентрации вводимого пластификатора ведет к увеличению количества активных центров, которые способны взаимодействовать с активными группами эпиксидного олигомера. Этим можно объяснить повышение показателя разрушающих напряжений при изгибе КМ. Следовательно, механизм повышения разрушающих напряжений при изгибе состоит в следующем. Содержание вводимого пластификатора ТХЭФ ($q = 20...30$ масс.ч.) обеспечивает условия для формирования материала со значительной плотностью пространственной сетки. Под воздействием нагрузки, макромолекулы, входящие в состав сверхмолекулярных образований, изменяют свою форму (происходит скручивание, удлинение, растяжение и др.). Таким образом, за счет гибкости полимерного звена, обеспечивается высокая упругость КМ в целом. Благодаря этому материал характеризуется способностью сопротивляться деформированию под действием нагрузок.

Параллельно проводили исследование модуля упругости при изгибе от содержания вводимого пластификатора при температуре сшивания 393 К (рис. 5, кривая 2). Как показал проведенный эксперимент, модуль упругости при изгибе эпиксидной матрицы составил $E = 2,9$ ГПа. Далее при введении пластификатора модуль упругости при изгибе увеличивается и его максимальное значение $E_{max} = 3,5...3,6$ ГПа наблюдается в интервале концентраций вводимого пластификатора $q = 10...20$ масс.ч. Последующее увеличение количества вводимого пластификатора ($q = 30...40$ масс.ч.) приводит к снижению модуля упругости при изгибе материалов до значений $E = 2,5...3,3$ ГПа. Причем это хорошо согласуется с полученными данными зависимости разрушающих напряжений при изгибе от концентрации пластификатора (рис. 5, кривая 3).

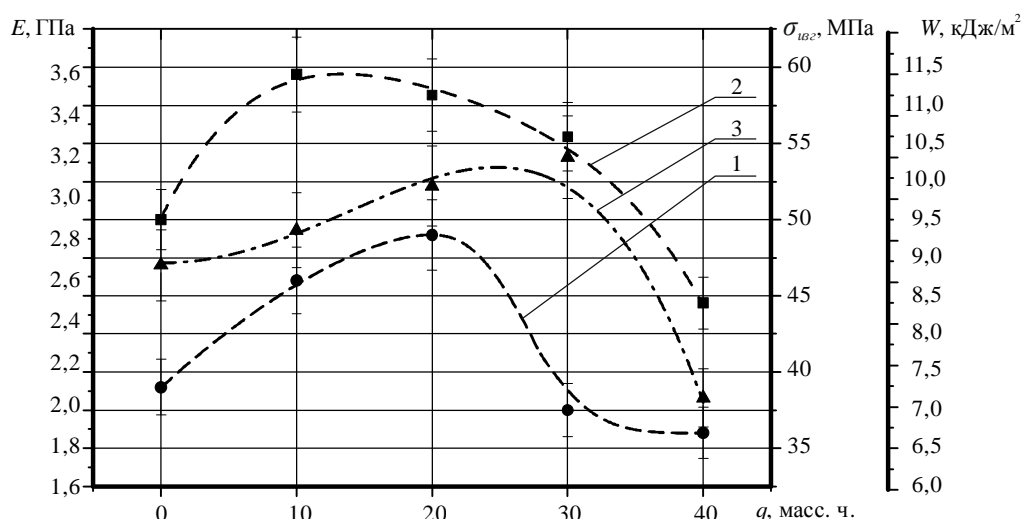


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости W (1), модуля упругости при изгибе E (2) и разрушающих напряжений при изгибе $\sigma_{уизг}$ (3) от содержания пластификатора ТХЭФ в композиции при температуре сшивания $T = 393$ К

С целью подтверждения приведенных выше результатов исследований физико-механических показателей (разрушающих напряжений и модуля упругости при изгибе) при температуре сшивания $T = 393$ К исследовали ударную вязкость эпоксикомпозитов с различным содержанием пластификатора ТХЭФ (рис. 5, кривая 1). Экспериментально установлено, что при содержании пластификатора $q = 10...20$ масс.ч. ударная вязкость возрастает относительно исходной матрицы ($W = 7,3$ кДж/м²) и составляет $W_{max} = 8,7...9,3$ кДж/м² соответственно, что составляет максимум и согласуется с полученными результатами исследования модуля упругости при изгибе и свидетельствует об интенсификации процессов сшивания при данных концентрациях добавки. Последующее увеличение концентрации пластификатора до $q = 30...40$ масс.ч. приводит к снижению ударной вязкости до значений $W = 6,7...7,0$ кДж/м² соответственно, что свидетельствует о перенасыщении эпоксикомпозитов пластификатором, а также об увеличении золь-фракции в них. В свою очередь это обуславливает интенсивное трещинообразование в материалах во время удара, что приводит к снижению показателей их ударной вязкости.

При исследовании разрушающих напряжений при изгибе для КМ, сшитых при температуре $T = 413$ К, установлено, что они составляют для эпиксидной матрицы $\sigma_{уизг} = 63,4$ МПа (рис. 6, кривая 3), что на $\Delta\sigma_{уизг} = 15,2$ МПа выше, чем аналогичное значение при температуре сшивания $T = 393$ К. Далее при введении пластификатора ($q = 10...20$ масс.ч.) показатели разрушающих напряжений при изгибе уменьшаются и достигают минимального значения $\sigma_{уизг min} = 54,6$ МПа. Однако с увеличением количества вводимого пластификатора ($q = 30$ масс.ч.) разрушающие напряжения при изгибе для КМ возрастают и составляют $\sigma_{уизг} = 64,9$ МПа, то есть практически являются таким же, как и у эпиксидной матрицы. Далее при введении добавки в количестве $q = 40$ масс.ч. разрушающие напряжения при изгибе составляют $\sigma_{уизг} = 98,4$ МПа, что свидетельствует о высоких пластических свойствах полученного материала и большой способности его к деформированию.

Параллельное исследование модуля упругости при изгибе от содержания вводимого пластификатора ТХЭФ в КМ, сформированных при температуре сшивания $T = 413$ К (рис. 6, кривая 2),

показало, что для эпоксидной матрицы модуль упругости при изгибе составил $E = 4,5$ ГПа, что на $\Delta E = 1,6$ ГПа выше, чем для матрицы, сшитой при температуре $T = 393$ К. Далее при введении в олигомер пластификатора наблюдали монотонное увеличение модуля упругости при изгибе и при концентрации добавки $q = 20 \dots 30$ масс.ч. его значение составляет $E = 4,8 \dots 5,7$ ГПа, что в $1,3 \dots 1,6$ раза соответственно выше по сравнению материалами, отвержденными при температуре $T = 393$ К. Это свидетельствует об увеличении количества активных центров, способных взаимодействовать с эпоксидным олигомером, и хорошо согласуется с данными, полученными ранее при исследовании зависимости разрушающих напряжений при изгибе (рис. 6, кривая 3). Далее при увеличении количества вводимого пластификатора до $q = 30 \dots 40$ масс.ч. модуль упругости при изгибе уменьшается и составляет $E = 3,1 \dots 3,3$ ГПа соответственно.

Анализ полученных данных об ударной вязкости при температуре сшивания $T = 413$ К показывает, что для эпоксидной матрицы ее значение составляет $W = 2,7$ кДж/м², что в 2,7 раза меньше, чем для аналогичного материала, сшитого при температуре $T = 393$ К.

При добавлении ТХЭФ ударная вязкость сначала увеличивается, а потом уменьшается, т.е. зависимость имеет аналогичный характер, что свидетельствует об перенасыщении композита пластификатором при введении последнего в количестве $q = 30 \dots 40$ масс.ч. Таким образом, оптимальным содержанием пластификатора ТХЭФ можно считать $q = 20$ масс.ч., при котором наблюдаются оптимальные значения показателей физико-механических свойств исследуемых материалов.

На втором этапе проводили экспериментальные исследования ударной вязкости (W , кДж/м²), модуля упругости (E) и разрушающих напряжений ($\sigma_{изг}$) при изгибе КМ для определения оптимальной температуры сшивания образцов при содержании пластификатора ТХЭФ $q = 0, 10$ и 20 масс.ч. Диапазон температур полимеризации выбран следующий: $T = [373; 393; 413; 433; 453] \pm 2$ К. Результаты проведенных исследований приведены на рис. 7, 8 и 9.

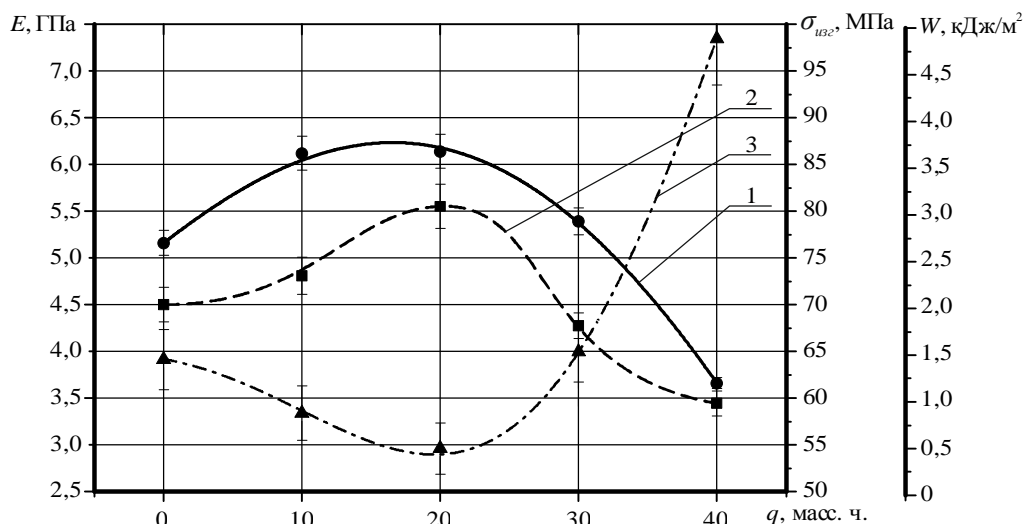


Рис. 6. Зависимость ударной вязкости W (1), модуля упругости при изгибе E (2) и разрушающих напряжений при изгибе $\sigma_{изг}$ (3) от содержания пластификатора ТХЭФ в композиции при температуре сшивания $T = 413$ К

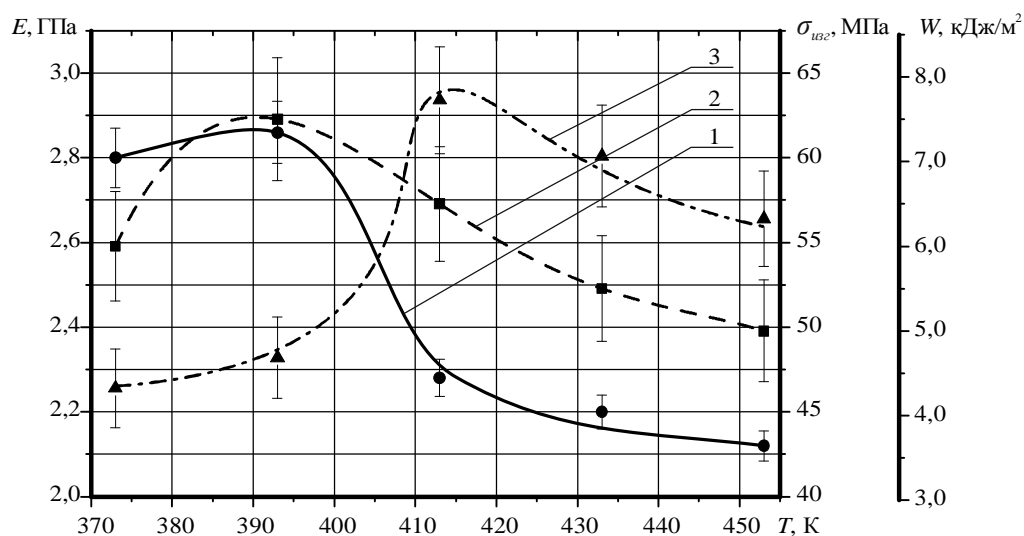


Рис. 7. Зависимость ударной вязкости W (1), модуля упругости при изгибе E (2) и разрушающих напряжений при изгибе $\sigma_{изг}$ (3) от температуры сшивания T для композиции: ЭД-20 (100 масс. ч.) + ПЭПА (10 масс. ч.)

В результате исследования разрушающих напряжений при изгибе (рис. 7-9, кривые 3) установлено, что максимальное значение этого показателя наблюдали при температуре сшивания $T = 413$ К, а именно: для эпоксидной матрицы – $\sigma_{изг\ max} = 63,4$ МПа; для матрицы с концентрацией пластификатора $q = 10$ масс.ч. – $\sigma_{изг\ max} = 60,2$ МПа; для матрицы с концентрацией пластификатора $q = 20$ масс.ч. $\sigma_{изг\ max} = 54,6$ МПа. Эти данные хорошо согласуются с данными экспериментов, представленными на рис. 5, 6 (кривые 3). То есть, оптимальная температура сшивания для исследованных эпоксиполимеров составляет $T = 413$ К, а количество вводимого пластификатора составляет $q = 10$ масс.ч.

Аналогичным образом анализировали полученные зависимости модуля упругости при изгибе (рис. 7-9, кривые 2): для эпоксидной матрицы при концентрации вводимого пластификатора $q = 10$ масс.ч. на кривой зависимости модуля упругости при изгибе от содержания добавки наблюдали максимум, который составляет $E_{max} = 2,9$ ГПа (максимум $E_{max} = 3,7$ ГПа соответственно наблюдали при температуре сшивания $T = 393$ К). При содержании пластификатора $q = 20$ масс.ч. наблюдали максимум $E_{max} = 3,6$ ГПа при температуре сшивания $T = 413$ К. Таким образом, оптимальное значение модуля упругости также наблюдали при концентрации пластификатора $q = 10$ масс.ч.

Анализируя полученные зависимости ударной вязкости от температуры сшивания (рис. 7-9, кривые 1), можно сделать вывод, что максимальные значения ударной вязкости наблюдали при температуре сшивания $T = 393$ К: для не пластифицированной эпоксидной матрицы – $W_{max} = 7,3$ кДж/м²; для матрицы с пластификатором при концентрации $q = 10$ масс.ч. – $W_{max} = 8,7$ кДж/м²; для матрицы с пластификатором при концентрации $q = 20$ масс.ч. – $W_{max} = 9,3$ кДж/м².

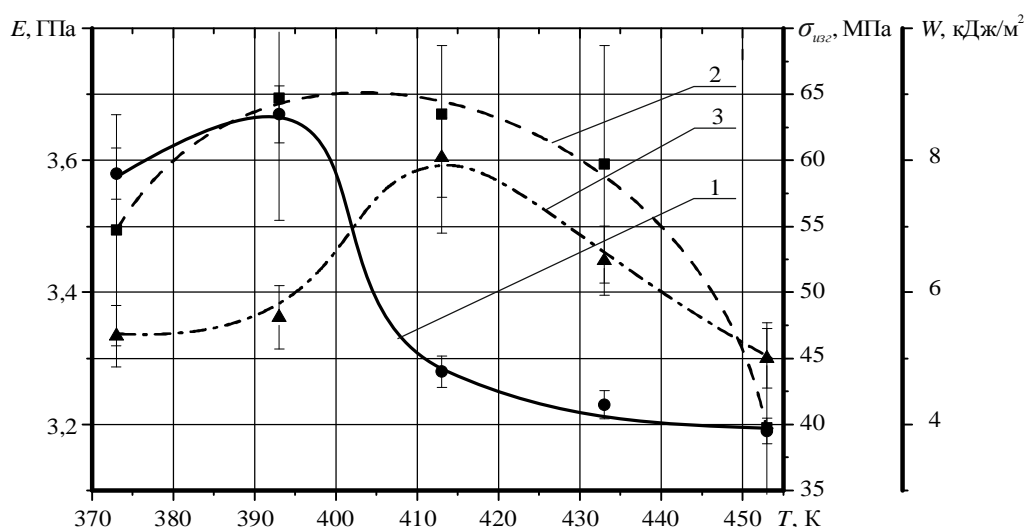


Рис. 8. Зависимость ударной вязкости W (1), модуля упругости при изгибе E (2) и разрушающих напряжений при изгибе $\sigma_{изг}$ (3) от температуры сшивания T для композиции: ЭД-20 (100 масс. ч.) + ПЭПА (10 масс. ч.) + ТХЭФ (10 масс. ч.).

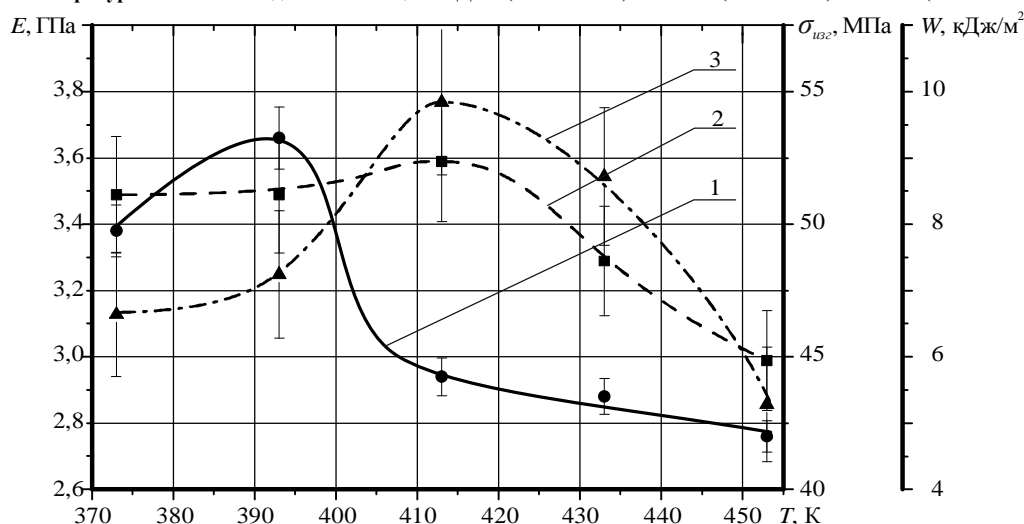


Рис. 9. Зависимость ударной вязкости W (1), модуля упругости при изгибе E (2) и разрушающих напряжений при изгибе $\sigma_{изг}$ (3) от температуры сшивания T для композиции: ЭД-20 (100 масс. ч.) + ПЭПА (10 масс. ч.) + ТХЭФ (20 масс. ч.).

Следует заметить, что при концентрации пластификатора $q = 10$ масс.ч. изменение показателя ударной вязкости КМ происходит более интенсивно и уменьшается в 1,8 раза в интервале температур сшивания $\Delta T = 393...413$ К, а для эпоксидной матрицы и при концентрации вводимого пластификатора $q = 20$ масс.ч. изменение составляет 1,6 раза в том же интервале температур сшивания. То есть, с точки зрения снижения деформируемости и улучшения пластических свойств оптимальным является количество

вводимого пластификатора $q = 20$ масс.ч. Однако ввиду незначительных расхождений ($< 5\%$) между значениями физико-механических показателей, полученных эпоксиполимеров с содержанием пластификатора $q = 10$ масс.ч. и $q = 20$ масс.ч. в интервале температур сшивания $\Delta T = 373 \dots 453$ К выбрали оптимальную концентрацию ТХЭФ $q = 10$ масс.ч, что позволит сократить затраты на производство пластифицированных полимерных матриц.

Выводы

На основе результатов экспериментальных исследований можно констатировать следующее.

1. Установлено оптимальное содержание пластификатора-антипирена трихлорэтилфосфата ТХЭФ ($q = 10 \dots 20$ масс.ч.) в эпоксидной матрице с улучшенными физико-механическими свойствами, состоящей из эпоксидного олигомера ЭД-20 (100 масс.ч.), отверждаемой полиэтиленполиамином ПЭПА (10 масс.ч.). В этом случае формируется материал со следующими свойствами: разрушающие напряжения при изгибе $\sigma_{3z} = 54,6 \dots 60,2$ МПа, модуль упругости при изгибе $E = 3,5 \dots 3,7$ ГПа.

2. Дополнительно установлено, что показатели ударной вязкости композитов при введении в эпоксидный олигомер пластификатора ТХЭФ увеличиваются по сравнению с не пластифицированной эпоксидной матрицей в 1,3 раза. При этом максимальной способностью противодействовать ударной нагрузке и его трещиностойкости отличается композитный материал при содержании пластификатора $q = 20$ масс.ч., сформированный при температуре $T = 393$ К. Ударная вязкость такого композита составляет $W = 9,3$ кДж/м².

3. Ввиду незначительной разницы в значениях физико-механических показателей, полученных эпоксиполимеров с содержанием пластификатора $q = 10$ и $q = 20$ масс.ч. в интервале температур сшивания $\Delta T = 373 \dots 453$ К выбрали оптимальную концентрацию ТХЭФ $q = 10$ масс.ч, что позволит сократить затраты на производство пластифицированных полимерных матриц.

Литература

1. Плакунова Е.В. Модифицированные эпоксидные композиции / Е.В. Плакунова, Е.А. Татаринцева, Л.Г. Панова // Пластические массы. – 2003. – № 2. – С. 39–40.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др.] ; под ред. Берлина А.А. – [3-е изд.]. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
3. Изучение влияния модификаторов на свойства эпоксидных композиций / Е.С. Ширшова, Е.А. Татаринцева, Е.В. Плакунова, Л.Г. Панова // Пластические массы. – 2006. – № 12. – С. 34-36.
4. Технология полимерных материалов [А.Ф. Николаев, В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов и др.] ; под общ. ред. В.К. Крыжановского. – СПб. : Профессия, 2008. – 544 с.
5. Асеева Р.М. Горение полимерных материалов / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков ; отв. ред.: Н. М. Эмануэль ; АН СССР, Ин-т химической физики . – М. : Наука, 1981 . – 280 с.
6. Структурные уровни разрушения эпоксидных композитных материалов при ударном нагружении / П.Д. Стухляк, А.В. Букетов, С.В. Панин [и др.] // Физическая мезомеханика. – 2014. – Т. 17. – № 2. – С. 65-83.
7. Тхір І.Г. Фізико-хімія полімерів / І.Г. Тхір, Т.В. Гуменецький. – Львів : вид. нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
8. Букетов А.В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А.В. Букетов, П.Д. Стухляк, І.В. Чихіра. – Тернопіль : Крок, 2011. – 201 с.
9. Трофимов Н.Н. Применение ультразвука в технологии создания адгезионных соединений / Н.Н. Трофимов, С.И. Пугачев. – Л. : ЛДНТП, 1979. – 20 с.
10. Москалев Е.В. Опыт ультразвукового склеивания при использовании эпоксидных адгезивов / Е.В. Москалев, Л.П. Вишневецкая, М.С. Тризно. – Л. : ЛДНТП, 1983. – 16 с.
11. Яновский Ю.Г. Оценки эффекта усиления связующих при наполнении эпоксидных связующих наноразмерными частицами различной природы (Компьютерные прогнозы) / Ю.Г. Яновский, Е.А. Никитина, С.М. Никитин [и др.] // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2014. – Т.20. – №1. – С. 34-57.

Рецензія/Peer review : 20.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 687.016(075)

А.Л. СЛАВІНСЬКА
Хмельницький національний університет**ДИЗАЙН-ПРОГРАМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
МОДУЛІВ ВИРОБІВ У СТРУКТУРІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

У статті представлена методика формування асортиментної програми виробництва промислової серії в технологічному процесі. На основі характеристики змісту конструктивно-технологічних модулів технологічного процесу сформована структурна модель перетворень елементів виробу на рівні предметів праці. Розроблена структура дизайн-програми блочно-модульного типу для завдань оптимізації технологічного процесу.

Ключові слова: дизайн-програма, промислова серія, конструктивно-технологічний модуль, технологічний процес, поопераційна технологія, асортимент.

A.L. SLAVINSKA
Khmelnitsky National University**THE DESIGN PROGRAM OF IDENTIFICATION OF IS CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL MODULES OF
PRODUCTS IN STRUCTURE OF TECHNOLOGICAL PROCESS**

In article, the formation technique of assortment programs of manufacture of models of an industrial series presented in technological process. His structural model of formation of entering and leaving elements of system "a product-technological process" is developed based on the characteristic of the maintenance of is constructive-technological modules at level of triads of transformations of objects of the labor. The block-modular structure of the design program contains conceptual model of equal planning of assortment based on a principle tread types for tasks of optimization of technological process.

Equilibrium conditions of the implementation of the technological programs during technological process are formulated as capsules of level selection of the industrial series of the garment styles. Model forms incoming conditions for automation of the sequence of the technological elements selection according to the customer requirements.

Keywords: the design program, an industrial series, constructive of technological of module, technological process, technological operation, an assortment

Вступ

На сьогодні промислового виробництва не вигідне виготовлення одиної моделі, оскільки вона не забезпечує гнучкість перебудови технологічних процесів відповідно до завдань забезпечення конкурентоспроможності продукції. Вибір типу дизайн-програми для управління асортиментною політикою виробника на засадах типізації художніх систем моделей повинен ґрунтуватися на застосуванні ансамблевої системи конструктивно-технологічних рішень, що забезпечує модифікацію конструктивних перетворень без втрати образності.

Саме естетично повноцінні і сучасні конструктивно уніфіковані елементи дозволяють сформувати систему «промислова серія» на основі варіантності базових конструктивних елементів і спільної схеми оброблення деталей в технологічному процесі.

Актуальним для формування модулів конструктивно-технологічних рішень промислової серії є виявлення однорідних технологічних операцій для підвищення універсальності швейних машин, що сприятиме використанню в технологічному процесі поопераційної технології у формі групової поопераційної спеціалізації на відміну від існуючої повузлової.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідженнями [1] запропонована математична модель проектних ситуацій визначення промислової серії на основі застосування в систематизованому асортиментному ряді принципу однорідності конструктивних і технологічних ознак моделей виробу.

Застосування моделі розмірного аналізу для уніфікації контрольних вимірів виробу, розглянутої в [2], забезпечує уніфікацію зрізів деталей для завдань технологічної підготовки виробництва.

У роботі [3] обґрунтовані геометричні умови збалансованості силуетної характеристики виробу, які дозволяють усунути розбалансованість деталей при їх з'єднанні швом та визначити раціональну величину технологічного припуску.

Питання ранжування за правилами рівневого впорядкування предметів праці в проектуванні технологічного процесу розглянуто як ієрархію елементів виробу [4, 5].

Саме кінцеві властивості елемента деталі [4] (розташування, пріоритет, технологічні параметри виконання), відповідно до нормативного визначення [6] визначають зміст технологічної операції як основного елемента технологічної складової конструктивно-технологічного модуля (КТМ).

Крім того, застосування швейних машин з широким набором автоматизованих функцій забезпечить концентрацію технологічних операцій на робочому місці та їх оптимізацію за рахунок виключення допоміжно-перемістних ручних робіт з одночасним підвищенням якості виробу [7].

Мета і завдання дослідження

Мета дослідження – обґрунтування методів вирішення асортиментної програми підприємства на рівні технологічного процесу.

Завдання дослідження:

- визначити аспекти конструкторсько-технологічної підготовки технологічного процесу;
- сформулювати структурну модель інформаційних зв'язків виробу системи «конструкція - технологія»;
- розробити концепцію асортиментної програми блочно-модульного формування вхідних даних технологічного процесу виготовлення промислової серії.

Виклад основного матеріалу статті

Згідно ДСТУ 2391:2010, виріб – це будь-який предмет або набір предметів, що їх виробляють на підприємстві. Відповідно технологічний процес *ТП* виготовлення швейних виробів розглядається як процес оброблення і з'єднання конструктивних елементів деталей виробу, а саме зрізів і поверхонь [5].

Отже, функція будь-якого технологічного процесу Φ визначається як перетворення об'єкта оброблення із вихідного стану C_0 в кінцеве C_k :

$$\Phi: C_0 \rightarrow C_k. \quad (1)$$

Вхідний стан швейного виробу, як об'єкта оброблення, характеризується множиною деталей крою *ДТ*, а кінцевий визначає готовий виріб *ГВ*. Тоді функція технологічного процесу виготовлення виробу *ТПВВ* може бути записана наступним чином:

$$\Phi: (ДТ_i) \rightarrow ГВ. \quad (2)$$

Стан предметів праці наступний: деталь крою, деталь виробу, проста і складна складальні одиниці різних порядків, складальні комплекси різних порядків, готовий виріб і встановлені способи їх утворення [8].

Множина деталей крою залежить від конструкції виробу. Конструкція виробу – це сукупність властивостей виробу, які характеризують склад його частин, призначеність, взаємна розташованість, форма розміри і матеріали складових частин та види з'єднання їх між собою [6].

Складовою частиною в конструкторсько-технологічній документації може бути будь-який виріб (деталь, складальна одиниця, комплекс і комплект). Всі вони можуть бути предметом праці в технологічному процесі.

Послідовність перетворення предметів праці в готовий виріб наступна [8]:

$$\phi(C_0) = C_j_1 \rightarrow C_j_2 \rightarrow C_j_3 \dots C_{k-j}_k \rightarrow C_k, \quad (3)$$

де C_0, C_k – вхідний і кінцевий стан предметів праці; C_1, C_2, \dots, C_{k-1} – проміжний стан предметів праці; $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_k$ – взаємодія живої праці і засобів праці.

Синтез виробу із множини деталей здійснюється за допомогою технологічних операцій, які характеризуються такими технологічними ознаками як спосіб з'єднання, вид строчки, вид шва [5].

Зміст технологічної операції характеризують прийоми виконання основних формоутворюючих елементів для забезпечення об'ємної форми деталі, зокрема, це виточки, шви, операції спрасування – відтягування, зміна кута між нитками основи і утку.

До основних параметрів, які характеризують конструкцію шва, відносяться: припуск тканини на шов – відстань від строчки до зрізу з'єднуваних деталей; відстань від строчки до підігнутого зрізу тканини; відстань між строчками у випадку застосування декількох строчок для утворення шва [7].

Параметри шва визначають конструктори одягу з метою досягнення його сучасного вигляду. Технологію обирають такі методи виготовлення швів, які забезпечують високу продуктивність і якість виконання ниткових з'єднань, а також їх експлуатаційну надійність.

До найвагоміших показників якості ниткових з'єднань відноситься міцність, яка характеризується розривальним навантаженням у поперечному напрямку (P_p, H), та жорсткість ($E, \text{мкНсм}^2$). Ці показники якості значною мірою залежать від технологічних параметрів машини: довжини стібка, натягу голкової нитки, номера голки.

Більшість застосовуваних швів можуть виконуватись на швейних машинах за один проход за допомогою формоутворюючих площин технологічної оснастки та пристосувань, а саме універсально-складальних пристосувань *УСП*, які повинні враховуватись в комплектуванні моделей промислової серії.

Проте ефективне використання швейних машин визначається не лише їх технічними можливостями, але і набором технологічної оснастки для формування крою деталі і наступного закріплення наданої форми нитковою строчкою.

Дослідженнями [5] для проектування технологічного процесу в якості основного елемента визначено конструктивно-технологічний модуль (*КТМ*).

Конструктивне рішення *КТМ* визначається сукупністю конструктивних характеристик, а саме: взаємним розташуванням деталей і зрізів, що описується графічними символами (зріз, перетин, ескіз), габаритами з'єднуваних деталей і конфігурацією зрізів, об'єднаних під назвою «додаткові» відомості про *КТМ*, не відтворену графічно.

Вибір конструктивного рішення *КТМ* передбачає ідентифікацію конструктивних елементів *КЕ* за ознакою взаємозамінності груп *КЕ*.

Цикл дій наступний:

- вибір KE для оброблення і з'єднання на i -му рівні;
- формування груп KE (функцій KTM) на i -му рівні;
- перетворення вихідного масиву KE , що відтворює його змінювання в результаті оброблення і з'єднання на i -му рівні.

Основною частиною технологічного рішення KTM є технологічні операції, які є обов'язковими для реалізації функції KTM . Додаткова частина технологічного рішення KTM характеризує операції додаткового призначення, наявність яких обумовлена індивідуальними вимогами виробництва до якості з'єднання конкретних конструктивних елементів або прийнятою формою організації трудового процесу. Тобто технологічна операція TO – це система, що містить основну і додаткову частини. Структуру TO характеризують технологічні прийоми (склад і послідовність їх виконання) з вказівкою їх характеристик (спеціальність, розряд тощо) [7,8].

Отже, структура технологічного процесу $ТП KTM$ характеризує функціонально завершену в технологічному відношенні елементарну частину $ТП$ з оброблення чи збирання елементарної частини конструкції конкретного виду виробу. Межами існування KTM є набір (множина) технологічних операцій не пов'язаних причинно-наслідковими зв'язками з іншою множиною технологічних операцій.

Етап вибору технологічного рішення KTM базується на способі отримання номенклатури технологічних операцій, які забезпечують однорідність технологічного рішення KTM на рівні диференціації технологічних операцій на технологічні прийоми.

Застосування методу концентрації технологічних операцій і оптимізації послідовності їх виконання [7] сприяє зростанню обсягу однорідних технологічних операцій на одному робочому місці перш за все за рахунок підвищення універсальності швейних машин. Крім того, існує блок допоміжно-переміщуючих прийомів, що не залежать від послідовності виконання технологічних операцій і саме сукупність цих елементів дій з органами машини утворює безпосередньо технологічну операцію.

Найчастіше у промисловості для всіх типів багатомодельних потоків використовують послідовно-асортиментний запуск моделей (виробів). Однією із умов такого запуску моделей (виробів) є однотипність методів оброблення, необхідного обладнання і технологічної оснастки, однотипність технологічних властивостей матеріалів та режимів їх оброблення. Кількість моделей – до шести [5].

Цій умові відповідає груповий технологічний процес, який передбачає виготовлення виробів зі спільними технологічними, але різними конструктивними ознаками. Для нього розглядають базовий виріб, умовно прийнятий за основу для розробки моделей виробів прийомами модифікування [6].

Структурна модель взаємозв'язку вхідних і вихідних елементів системи «виріб – технологічний процес» наведена на рисунку 1.

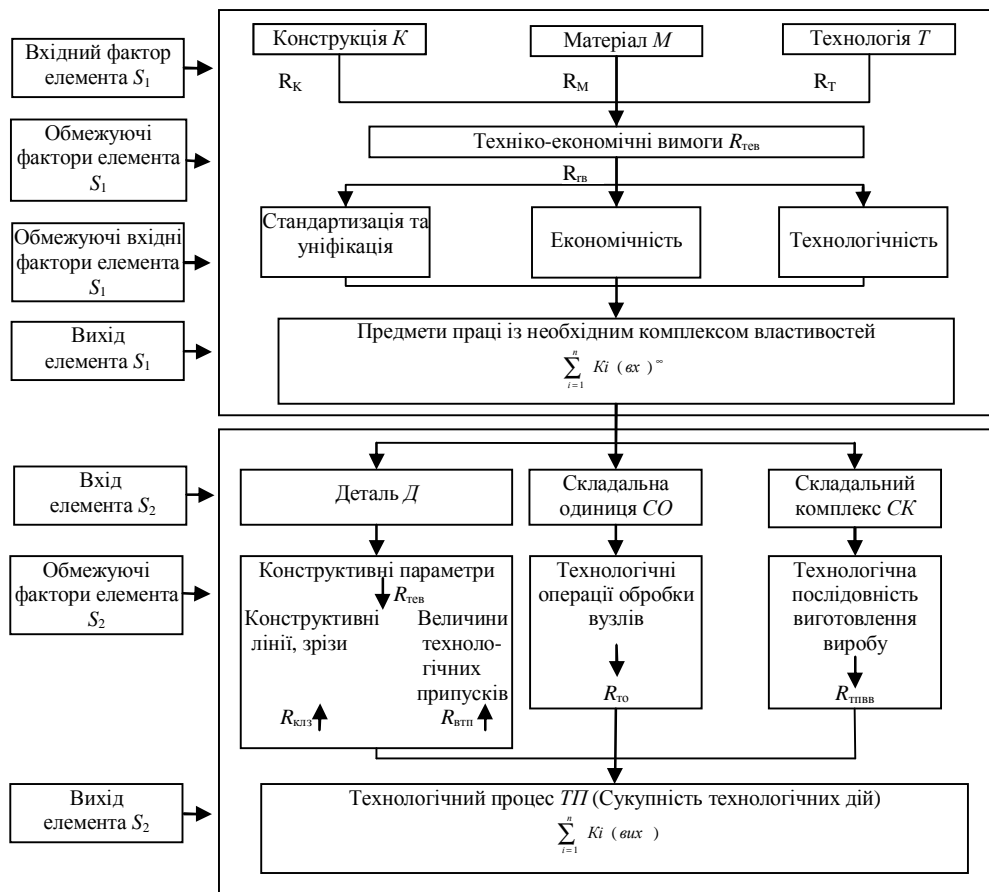


Рис. 1. Структурна модель формування вхідних S_1 та вихідних S_2 елементів системи «виріб-технологічний процес»

Підсистемами виробу є конструкція K , матеріал M , технологія T . Підсистемами технологічного процесу – деталь D , складальна одиниця CO , складальний комплекс CK .

Морфологічний опис формування елемента S_1 представлено записом:

$$S_1 = \left\{ R_K \cup R_M \cup R_T, R_{TEB} \sum_{i=1}^n Ki_{(вих)}, \right. \quad (4)$$

де S_1 – вхідний фактор елемента конструкція, матеріали, технологія;

R_K, R_M, R_T – інформаційні зв'язки;

R_{TEB} – розмірні зв'язки техніко-економічних вимог;

$Ki_{(вих)}$ – вхідні властивості предметів праці для технологічного процесу.

Необхідний комплекс властивостей технологічного процесу досягається за рахунок взаємодії параметрів предметів праці, а саме деталь, складальна одиниця, складальний комплекс:

$$S_2 = \{ R_D, R_{TO}, R_{ПВБ} \}. \quad (5)$$

Умови організації виробництва є обмежувачими факторами параметричних зв'язків для утворення сукупності технологічних дій в технологічному процесі $\sum_{i=1}^n Ki_{(вих)}$.

Ефективність технологічного процесу оцінюється коефіцієнтом відповідності властивостей готового виробу K_e :

$$K_e = \frac{\sum_{i=1}^m Ki_{(вх)}}{\sum_{i=1}^n Ki_{(вих)}}. \quad (6)$$

Чим ближче коефіцієнт відповідності K_e наближається до одиниці, тим ефективніший процес проектування $ПВБ$.

Враховуючи пріоритетність конструктивних елементів в характеристиці KTM технологічного процесу особливого значення набуває вибір типів програм для забезпечення асортиментної діяльності підприємства.

Виробничий цикл проходження промислової серії забезпечують наступні програми:

- дизайн-програма спрямована на брендинг торгової марки;
- програма технологічності асортименту спрямована на ідентифікацію конструктивних елементів у моделях технологічної серії;
- програма секційного групування спрямована на однорідність технологічних груп виробів промислової серії $ПС$ у технологічному процесі виготовлення виробу.

Взаємозв'язок елементів KTM промислової серії в процесі виготовлення виробів забезпечує ієрархія поетапної оптимізації технологічного процесу за видами перетворень предметів праці: складальна одиниця (CO) → складальний комплекс (CK) → готовий виріб ($ГВ$).

Вибір методу перетворень характеризує графічна інтерпретація триад програм взаємозв'язків KTM промислової серії в технологічному процесі, яка наведена на рисунку 2.

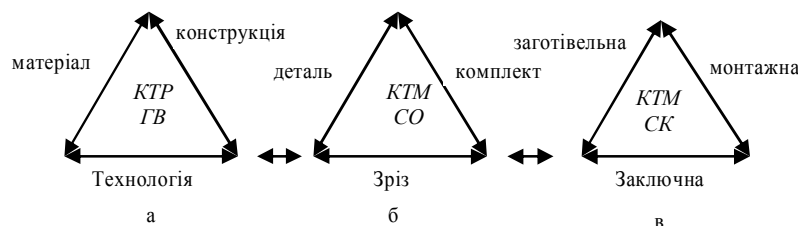


Рис. 2. Триади програм формування KTM технологічного процесу виготовлення виробів промислової серії

Дизайн-програма (рис. 2 а) базується на методі ансамблевості KTP в капсулі моделей промислової серії. Програма технологічності (рис. 2 б) – на методі ідентифікації прийомів технологічних операцій. Програма групування (рис. 2 в) – на методі концентрації однорідних технологічних операцій в секціях $ПВ$.

Керуючою в системі асортиментної програми є дизайн-програма, яка забезпечує оновлення структури асортименту відповідно до обсягів продаж товару за моделлю «Бостонської матриці» [8].

Своєчасне внесення у товар змін шляхом модифікації моделей промислової колекції відповідає вимогам мерчендайзингу щодо формування структури колекції торговельної марки одягу. Суміщення ознак промислової колекції за групами споживчих вподобань [9] та якісних характеристик новизни [10] (див. табл. 1).

Для уточнення взаємозв'язку, наведених у таблиці 1, груп з категоріями збуту товарів масового виробництва, для оновлення промислової серії базової товарної групи classic розроблена модель стратифікації образності моделей на засадах ансамблевості варіантів KTP (табл. 2).

Таблиця 1

**Перехресна стратифікація груп торговельної марки
в характеристиці життєвого циклу промислової колекції**

Група ознак асортиментних вподобань	Група якісних ознак новизни		
	Кодове слово	Назва	Індкс
Вербальний опис			
Основна концептуальна група	Basa	Типова	Т
Базовий асортимент для цільової аудиторії в колекції Basa	Basis	Типова	Т
Найактуальніші і вдалі види асортименту	Bestseller	Типова, сучасна	Т, С
Базовий асортимент з логотипом марки для масового споживача	Image	Типова	Т
Модний асортимент за поточними тенденціями сезону	Fashion	Модна, сучасна	М, С
Гостромодна асортиментна група періодичного попиту	Flash	Нова, модна	Н, М
Модний експериментальний асортимент напряму прет-а-порте	Promo	Модна	М
Найгостріший експериментальний одяг напряму прет-а-порте де Люкс	Pronto	Нова	Н

Таблиця 2

Взаємозв'язок ознак образності моделей промислової колекції в процесі оновлення промислової серії

Категорія товару на ринку збуту	Якісна характеристика новизни	Образна характеристика споживчих вподобань
Зона високої моди А	Нова Н	Pronto
	Модна М	Flash , Promo
Зона масової моди В	Модна М	Promo, Fashion
	Сучасна С	Fashion, Basis, Bestseller
Зона постійного попиту С	Сучасна С	Bestseller
	Типова Т	Basa, Bestseller , Image

На основі прототипу трикутника категорій товару на ринку збуту [11] запропоновано три рівні А, В, С розвитку асортименту з виділенням тріад груп новизни моделей асортименту (рис. 3 а). А – концептуальні моделі стильового розвитку асортименту; В – перспективні моделі базової форми асортименту; С – моделі сучасної сезонної колекції асортименту у вигляді систематизованого асортиментного ряду (САР).

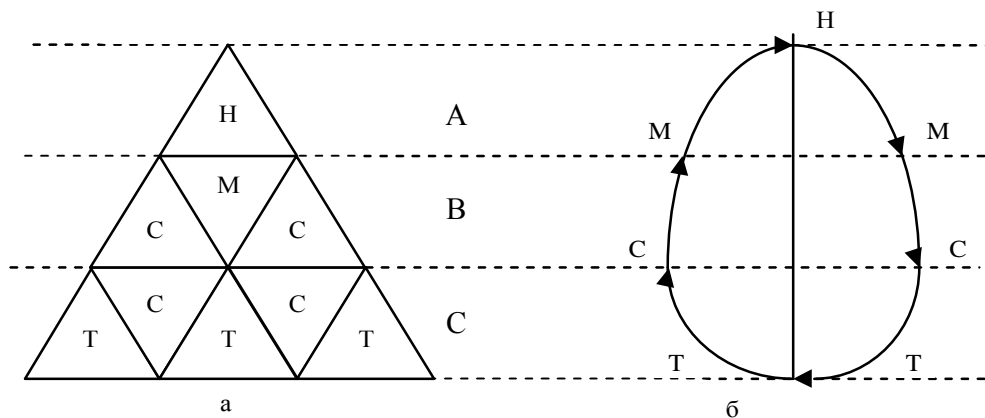


Рис. 3. Концептуальна модель життєвого циклу новизни асортименту

Топологічна модель концентрації груп новизни формується відносно зони В, групами С, асортиментом Fashion. Замкнутий цикл перетворень груп новизни ілюструє еліпсоїдна форма топологічних перетворень (рис. 3 б).

Автором для розробки дизайн-програми формування структури промислової серії застосовано принцип капсульного проектування товарних груп асортименту на рівнях А, В, С.

Схема капсульного формування товарних груп асортименту має врахувати конкурентну рівновагу технологічних програм виготовлення виробів у технологічному процесі з позицій якості виробу в цілому. Це забезпечує дотримання наступних умов:

- структура КТП виробів промислової серії має входити в базу даних асортиментної серії промислової колекції моделей;
- формування структури асортиментної колекції торговельної марки повинне відповідати вимогам брендингу марки;
- змінювання станів предметів праці повинне забезпечити замкненість моделі топологічних перетворень деталі у виріб;

- види товарних груп, представлених в асортиментній колекції, повинні відповідати функціональності одягу;

- групи споживчих переваг в асортименті повинні забезпечити якісні характеристики груп новизни системи моделей.

Ефективність і оптимальність технологічного процесу виготовлення швейного виробу забезпечують програми технологічності і секційності групувань неподільних операцій, які повинні бути підпорядковані стабільності реалізації моделей промислової серії.

Вибір моделі об'єднання груп новизни асортименту в промисловій серії ілюструє принцип триадності (рис. 4). Математичний опис морфологічних зв'язків у групах асортиментних вподобань представлено операціями об'єднання і перетину множин груп новизни.

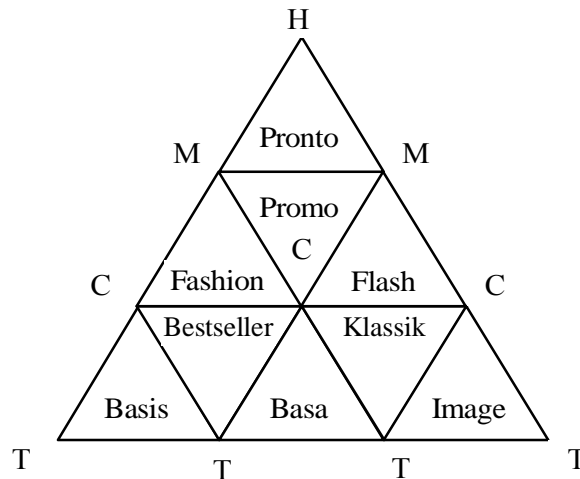


Рис. 4. Триадна модель об'єднання асортиментних вподобань виробів у промислову серію

$$\left. \begin{aligned}
 \text{Pronto} &\subset H \cup M \cup M \\
 \text{Promo} &\subset M \cup M \cup C \\
 \text{Fashion} &\subset M \cup C \cup C \\
 \text{Flash} &\subset M \cup C \cup C \\
 \text{Bestseller} &\subset C \cup C \cup T \\
 \text{Klassik} &\subset C \cup C \cup T \\
 \text{Image} &\subset C \cup T \cup T \\
 \text{Basa} &\subset C \cup T \cup T \\
 \text{Basis} &\subset C \cup T \cup T
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Рівневі зміни новизни груп відносно вершин трикутників описують перетини множин:

$$\text{Pronto} \cap \text{Promo} \cap \text{Basa};$$

$$\text{Fashion} \cap \text{Bestseller}; \quad (7)$$

$$\text{Flash} \cap \text{Klassik}.$$

Виходячи з того, що Klassik ідентичне Basa в трикутнику рівнів новизни ($H \rightarrow M \rightarrow C \rightarrow T$), в капсулі задіяно 8 блоків умовних моделей типів вподобань. Базова промислова колекція капсули містить $8 \times 3 = 24$ моделі відносно рівня M-M, оскільки Pronto є елементом Promo.

Матрицю капсул промислових серій утворюють наступні варіанти:

- перший: Promo, Fashion, Bestseller, Basis, Basa, Flash.
- другий: Promo, Flash, Basa, Image, Basis, Bestseller.
- третій: Basis, Bestseller, Basa, Image, Fashion, Promo.

Запропонована капсула образного рішення моделей асортименту містить блоки комбінаторного застосування триад моделей кодів вподобань. Зародження образності фіксує модель вершини трикутника на якій розташована концептуальна модель актуального стилю або мікростилу. Основа трикутника є лінією переходу на інший рівень споживчих переваг. Тобто, кожен трикутник може містити щонайменше три моделі, дві з яких будуть вершинами наступного рівня і мати зворотній зв'язок для розвитку попереднього рівня. Дуалізм вершин утворює промислові серії по 6 моделей, що відповідає умові максимальної кількості запуску моделей в технологічний процес.

Висновки

1. Наукова новизна досліджень полягає в тому, що:
 - вперше розроблена дизайн-програма капсульного планування асортименту, яка враховує ансамблевисті груп виробів за споживчими вподобаннями і відповідає вимогам підвищення ефективності сучасних технологічних процесів виготовлення швейної продукції.
 - застосування концепції торговельної марки у формуванні асортиментної колекції товаро-виробника створює передумови для забезпечення стабільності виведення на ринок нового товару та забезпечує продовження життєвого циклу продукції на ринку.
2. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:
 - Сформульовані умови забезпечення рівноваги технологічних програм технологічного процесу в капсулах рівневого добору моделей промислової серії. Тріадна модель об'єднання виробів у промислову серію за споживчими вподобаннями новизни створює передумови для автоматизації алгоритму ансамблевого добору конструктивних і технологічних елементів *KTM* технологічного процесу.

Література

1. Славінська А. Л. Метод оптимізації конструктивно-технологічних ознак систематизованого ряду серії моделей швейних виробів / А. Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – №2. – С. 45 – 49.
2. Славінська А. Л. Методи і способи антропометричних досліджень для проектування одягу : монографія / А. Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 191 с.
3. Славінська А. Л. Визначення геометричних умов збалансованості силуетних ліній чоловічого піджака / А. Л. Славінська, Т. О. Березюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – №2. – С. 82 – 85.
4. Пономаренко А. П. Застосування комплексного об'єктно-орієнтовного підходу при формуванні технологічної послідовності виготовлення жіночого одягу / А. П. Пономаренко, О. В. Пястук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – №4. – С. 83 – 86.
5. Проектирование технологических процессов с применением ЭВМ / В. А. Чечкин, М. В. Гудым, В. Е. Мурыхин. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 128 с.
6. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 2391:2010. – К. : Укрдержстандарт. – 31 с.
7. Кокеткин П. П. Пооперационная машинно-автоматизированная технология одежды : монографія / П. П. Кокеткин. – Смоленск : Смоленский полиграфический комбинат, 2003. – 232 с.
8. Современные формы и методы проектирования швейного производства : учебное пособие для вузов / Т. М. Серова, А. И. Афанасьева, Т. И. Илларионова, Р. А. Рель. – М. : Московский государственный университет дизайна и технологии, 2004. – 281 с.
9. Розробка колекцій одягу: навчальний посібник / А. М. Малинська, К. Л. Пашкевич, М. Р. Смирнова, О. В. Колосніченко. – К : ППНВЦ, Профі, 2014. – 140 с.
10. Славінська А. Л. Методи типового проектування одягу : навчальний посібник / А. Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 179 с.
11. Основы теории проектирования костюма : учеб. для вузов / Под ред. Т. В. Козловой. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 352 с.

Рецензія/Peer review : 27.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 2.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ОСОБЛИВОСТІ СПОЖИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЗУТТЯ КІЛКОВОГО МЕТОДУ КРІПЛЕННЯ

На основі сучасних уявлень про споживні властивості взуття проведено аналіз переваг і недоліків взуття дерев'яно-кілкового методу кріплення. Окреслено напрямки розширення сучасного асортименту взуття шляхом використання історично сформованих методів виготовлення даного товару. Взуття цього методу кріплення не описане в сучасній навчальній літературі, проте набуває широкого використання. Здійснено товарознавчу характеристику споживних властивостей взуття кілкового методу кріплення, подано ретроспективний аналіз розвитку виготовлення цього взуття, зокрема його конструкцій та форм. Сформульовано перспективи подальших досліджень взуття дерев'яно-кілкового методу кріплення. Запропоновано використання характеристики кілкового взуття як доповнення до наявних навчальних видань.

Ключові слова: взуття, споживні властивості, дерев'яно-кілковий метод кріплення, кілковане взуття

N.I. POPOVYCH, M.P. STEFANYK, M.S. BEDNARCHUK

Lviv Academy of Commerce

FEATURES CONSUMER PROPERTIES OF FOOTWEAR KILKOVOGO METHOD OF ATTACHMENT

On the basis of modern concepts of consumer properties of footwear, an analysis of the advantages and disadvantages of wooden-footwear of the peg attachment method has been conducted. The areas of expansion of the modern assortment of footwear by the use of historically formed methods of the product manufacturing were outlined. Footwear of this method of attachment is not described in modern educational literature, but is widely use. Consumer commodity characteristic properties of the peg method of footwear attachment has been carried out. A retrospective analysis of development of the manufacturing of this footwear, including its structures and forms has been given. Prospects for further research of wooden-footwear of the peg method of attachment have been formulated. The use of the characteristics of peg footwear as a supplement to existing educational publications has been offered.

Keywords: footwear, consumer properties, wooden and kilkovyj method of attachment, shoes of kilkovyj method of attachment.

Вступ

Споживні властивості характеризують соціальну значимість, практичну корисність, зручність користування, естетичну досконалість, економічну ефективність і нешкідливість товару, є об'єктивними особливостями конкретного матеріалу чи товару, що може виявитися за допомогою функцій, які вони виконують під час виробництва, оцінювання, зберігання і споживання (експлуатації) [1].

Взуття – це товар, який задовольняє матеріальні та духовні потреби людини, створюється людиною в результаті цілеспрямованої діяльності і є збалансованою динамічною системою, в якій все піддається функціям. Тому під час характеристики, зокрема товарознавчої, взуття як систему потрібно описувати функціонально.

Тракування функції взуття не є апріорним. Тому провідні науковці товарознавства взуття по різному пояснюють функцію взуття як системи [2].

Оскільки функція – це ціль, ідея, призначення, роль об'єкта, які не є реальними, то її потрібно матеріалізувати в певну конкретну форму. В даному випадку реалізація функції – конструкція взуття (його форма і розміри, використані матеріали, особливо окремих елементів, їх взаємозв'язок і метод кріплення), які розвиваються внаслідок науково-технічного прогресу.

Постановка завдання

Забезпечення високої якості взуття означає створити таку конструкцію і форму взуття, яке самостійно забезпечить найкраще виконання всіх її різноманітних функцій. З часом функції взуття, зокрема його конструкція та форми розвиваються і вдосконалюються.

Історичний розвиток конструкції та форм взуття можна розділити на три етапи:

1. виробництво взуття вручну – взуття ручної роботи (період домашнього виробництва та виробництва ремесел);

2. механічне виробництво взуття;

3. автоматизоване (із залученням хімізації) взуттєве виробництво [3]

Відомо, що взуття – складна конструкція, що складається з багатьох функціональних деталей, і що ця складність і механізація призвели до поділу процесу виготовлення на два етапи: виготовлення заготовки (з'єднаних деталей верху) і прикріплення до неї підошви (деталі низу).

З часом принципова конструкція взуття не змінилася. Деталі верху з'єднувались за допомогою швів у заготовку, а до неї кріпилась деталі низу.

Проте вдосконалення технології зводилося переважно до вибору методу кріплення, вибір технології взуттєвого виробництва визначався насамперед економічністю і надійністю того чи іншого методу кріплення. Різні методи кріплення існували одночасно завдяки різноманіттю видів взуття, витісняли один одного часто зі змінним успіхом. І хоч метод прослужив досить довго, шпилька так і не стала самим раціональним кріпильним матеріалом.

Слід відзначити, що використання даного методу кріплення донедавна практично було відсутнє у взуттєвому виробництві, в зв'язку із модернізацією виробництва. Як наслідок дерев'яно-кілковий метод кріплення підошви у взутті, а також дане взуття, яке прийнято називати «кілковане взуття» не описане в сучасній спеціальній літературі [4–7], проте у зв'язку із циклічністю історії розвитку взуттєвого виробництва, а зокрема, значного збільшення модельного взуття даного методу кріплення, актуальною є його товарознавча характеристика.

Результати досліджень та їх обговорення

Метод кріплення низу взуття дерев'яними шпильками використовувався у взуттєвому виробництві протягом достатньо тривалого часу. Ще в XVII ст., коли з'явилися жорсткі і товсті підошви, їх з'єднували з верхом дерев'яними цвяхами. В кінці XIX ст. для цієї мети пристосували машину, поява якої була зумовлена механічним виготовленням шпилькової стрічки. Дерев'яно-шпильковий метод кріплення надавав широкі можливості для механізації, не дивно, що йому довгі роки віддавали перевагу: в кінці минулого – початку нинішнього століть чи не більша кількість взуття була дерев'яно-кілкового методу кріплення.

Механічне виготовлення дерев'яних кілочків почалося в 1812 році, а у 1820 році було винайдено першу дерев'яно-кілкову машину. Масове виробництво так званого «кілкованого взуття» розпочалося лише в 1851 році. Таке взуття було призначене для експлуатації у важких умовах. У взутті дерев'яно-шпилькового методу кріплення устілка та підошва були дещо товстішими, для забезпечення утримання дерев'яних кілочків, які мали гладку поверхню. Кілочки виготовлялись товщиною 1,4–3,2 мм та довжиною 12,5–20 мм з берези, бука або клена – в'язких порід дерев. Найбільш цінними властивостями володіли кілочки виготовлені з берези, оскільки володіли пружністю, щільністю, стійкістю до гниття і практично не поглинали вологу.

Механізм кріплення підошви до верху взуття деревино-шпильковим методом здійснювався таким чином: від кленової, березової або букової стрічки автоматично відрізався шпилька потрібного розміру, і молотковий механізм проштовхував її в заздалегідь пророблене шилом-транспорттером отвір в підошві і устілці. Кілочки повинні проходити крізь деталі, які скріплюються, зтягну кромку верху, підносок, задник (при заміні підошви) і устілку. Торці шпильок на ходовій поверхні обпилюють абразивним полотном. Кінчики кілочків, які виступали із устілки на величину не меншу загострення кілочків зрізалися ножовим апаратом машини, рашпїлем. Підошва в п'ятковій частині прикріплювалась одним рядом кілочків, в носково-пучковій – двома, а в геленковій – трьома рядами. Кілочки у рядах розташовували в шахматному порядку на відстані між рядками – 4–6 мм, між центрами кілочків в ряді – 5–6 мм, а перший ряд від краю устілки розташовувався на 3–6 мм. У випадку зменшення даних відстаней могло спричинити відсікання устілки, а збільшення – попадання скріплювала в зтяжні цвяхи чи за межі зтяжної кромки, в обох випадках відбувається зниження міцності кріплення [8].

Слід відзначити, що сьогодні одночасно прогресують перший (виробництво взуття вручну) і третій (автоматизоване взуттєве виробництво) етапи історії розвитку взуттєвого виробництва.

Справді, за результатами моніторингу сучасного виробництва взуття, зокрема модельного більша його частка виробляється вручну, так зване, взуття ручної роботи. Дане взуття відрізняється від взуття масового виробництва високою якістю і виготовляється дуже часто на замовлення споживача з врахуванням індивідуальних розмірно-повнотних характеристик стопи, індивідуального підбору пакетів матеріалів верху та низу взуття, а також використанням дерев'яно-кілкового методу кріплення підошви (рис. 1 – 2).

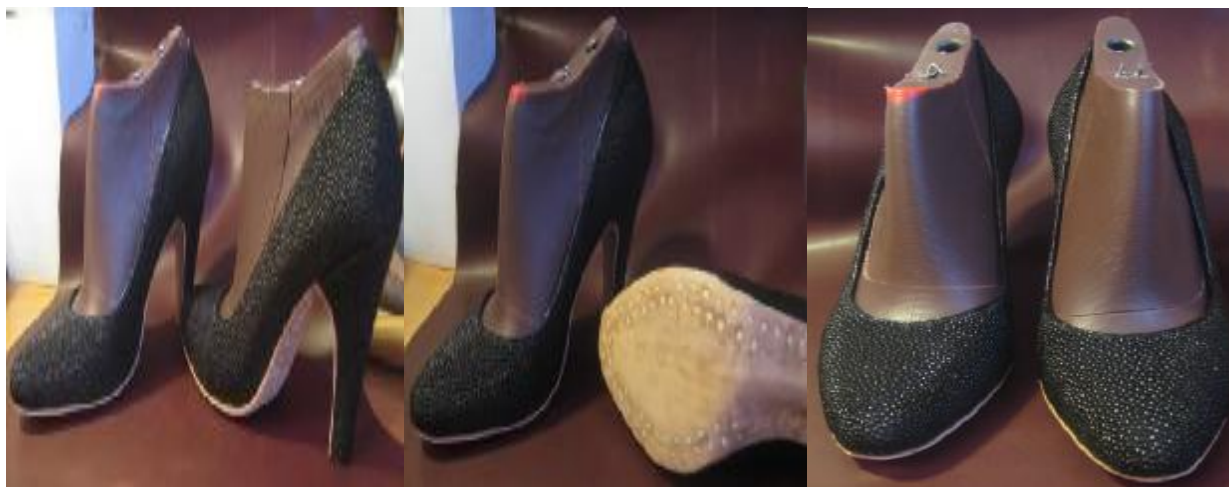


Рис. 1. Жіноче взуття ручної роботи дерев'яно-кілкового методу кріплення

Варто наголосити, що у взутті дерев'яно-кілкового методу кріплення матеріали низу (підметка, підошва та каблук) та внутрішні (устїлки) деталі виготовляються із натуральної шкіри.

У властивостях призначення кілкованого взуття можуть бути виокремлені загальні переваги та недоліки. Переваги загального характеру: забезпечення раціонального розподілу навантаження між



Рис. 2. Чоловіче взуття ручної роботи дерев'яно-кілкового методу кріплення

носковою і п'ятковою ділянками стопи та врівноваження стану м'язів і суглобів ніг під час стояння і пересування за рахунок можливості підняти п'яткову частину на оптимальну висоту; набухання шкіри і дерев'яних кілочків створюють додаткові міцні сили зчеплення, що спричинює збільшення коефіцієнту тертя – забезпечує належний рівень функціональних, зокрема фрикційних властивостей; взуття дерев'яно-кілкового методу кріплення є еластичнішим, що покращує антропометричні властивості.

Основними перевагами антропометричних властивостей кілкованого взуття є: відповідність параметрів копилів стопам конкретних статево-вікових груп населення за розмірами і формою сліду, формою та висотою носкової і геленкової частин, периметрами обхвату з урахуванням використання панчішно-шкарпеткових виробів, вкладних устілок тощо; раціональність конструкції взуття; можливість плавно

регулювати периметри обхвату на різних ділянках; стабільність форми і внутрішніх розмірів взуття після знімання з копилів; стабільність розмірів і форми взуття в процесі зберігання і використання, можливість приформовування до стопи за рахунок пластичності деталей верху.

Щодо ергономічних властивостей, слід відзначити, що взуття дерев'яно-кілкового методу кріплення є важким, що погіршує показники вказаних властивостей даного взуття.

Особливої уваги заслуговують високі показники гігієнічних властивостей даного взуття, які у кілкованому взутті, як і взутті інших конструкцій, обумовлені природою та властивостями вихідних матеріалів. Але порівняно, наприклад, з взуттям клеєного методу кріплення, кілковане взуття має значно кращі токсико-гігієнічні властивості передусім через відсутність клею в системі матеріалів підшови та використанням натуральних матеріалів. Завдяки цьому, зокрема, зменшується ймовірність подразнень шкіри стопи, алергічних явищ, негативних впливів канцерогенного характеру, подразнень, дерматитів, розвитку грибкової флори.

На рівень показників властивостей надійності негативно впливає послаблення дерев'яно-кілкового кріплення в процесі носіння взуття спричинюється в основному почерговим намоканням і висушуванням. Найбільш слабка ділянка у підшві взуття дерев'яно-кілкового методу кріплення – геленкова (до 75% всіх випадків порушення кріплень). Проте в цілому, показники властивостей надійності, зокрема ремонтпридатність є кращою, ніж у взутті інших механічних методів кріплення – устілка кілкованого взуття витримує дворазовий ремонт підшови та володіє високими властивостями довговічності, що забезпечує належний рівень соціально-економічних властивостей даного взуття. До переваг даного методу кріплення потрібно віднести те, що під час зволоження низу (підшови) взуття підвищується його міцність до 40%, що є особливо важливим для взуття, призначеного для експлуатації в умовах з підвищеною вологістю.

Міцність кріплення такого взуття, яка безпосередньо впливає на показники надійності, залежить від кількості рядів кілочків і при недостатній їхній кількості значно поступається іншим механічним методам кріплення деталей низу взуття. Крім того на міцність кріплення впливають такі фактори:

- 1) фізико-механічні властивості шкіри, зокрема, для даного методу кріплення оптимальною є жорстка шкіра з невисоким вмістом жиру, з хорошими водовідштовхувальними властивостями;
- 2) вологість шкіри під час проколювання кілочками повинна становити: для підшови – 25–30 %, для устілки – 18–20 %. Така вологість забезпечує високу міцність утримування кілочків;
- 3) вологість дерев'яної стрічки повинна становити 8–10 %, що також забезпечить високу міцність утримування кілочка;
- 4) профіль шила-транспортера краще використовувати конусоподібної форми замість циліндричної, що забезпечує підвищення міцності утримування кілочків на 50% і більше, а його діаметр на 10–20 % меншим товщини кілочка; деталі низу деталі низу;
- 5) використання ножового апарату з двома ножами для обробки кінців кілочків зі сторони устілки збільшить міцність утримування кілочків до 30 %;
- 6) міцність кріплення кілочків збільшується в залежності від кількості рядків, зокрема: два рядки кілочків – на 77 %, три рядки – на 155 %;
- 7) частота кілочків (відстань між ними) обернено пропорційно впливає на міцність кріплення та прямо пропорційно на міцність матеріалу, тобто: збільшення частоти кілочків – підвищує міцність кріплення та знижує міцність матеріалу;
- 8) просочування дерев'яної стрічки спеціальними смолами підвищує початкову міцність утримування кілочків більше, ніж на 70 % [9].

Найважливішим показником надійності є термін служби - довговічність. 30-ти денний гарантійний

термін кілкованого взуття варто вважати задовільним за рівнем вимог національних стандартів.

Соціально-економічні властивості кілкованого взуття забезпечують повноту задоволення потреб людини у збереженні здоров'я, забезпеченні безпеки пересування (попередження захворювань і травм), гармонізації предметного середовища, задоволенні естетичних потреб, тобто задоволення всього комплексу потреб з мінімальними витратами коштів.

Психофізіологічні властивості кілкованого взуття по різному сприймаються органами чуття.

На дотик місця з'єднання деталей верху та підосви в місцях кріплення дерев'яними кілочками мають складки та нерівності конструктивного характеру, що стосовно вимоги до максимальної гладкості місць з'єднання деталей взуття можна розцінювати негативно.

Сприйняття кілкованого взуття органами нюху можна розцінювати більш позитивно, ніж, наприклад, взуття хімічних методів кріплення, оскільки розчинники, пластифікатори, клеї та інші речовини, що можуть бути джерелом неприємного запаху, свідчити про хімічну нестабільність матеріалів і сприйматися як хімічна загроза здоров'ю, присутні в цьому взутті у меншій кількості.

Органами зору кілковане взуття сприймається позитивно насамперед через наявність оригінальної конструкції, в якій є можливість вдало підібрати деталі, оздоблення і нитки за кольором, матеріали за кольором, тоном фарбування, блиском тощо.

Соціально-психологічні властивості кілкованого взуття зведені до естетичних, зокрема:

- оцінюючи інформаційну виразність кілкованого взуття, варто підкреслити сучасність його образного вирішення і виразність оформлення знакових систем, що відображають характерні особливості виробу з урахуванням сучасних традицій і звичаїв, статі і віку споживачів, цільового призначення, сезону та інших умов використання; відповідність форми і декоративного оформлення суспільним естетичним ідеалам, стилю та моді, індивідуальним смакам; оригінальність художнього задуму; наочність, виразність засобів графічної інформації і символіки, її відповідність психологічним особливостям споживачів;

- раціональність форми кілкованого взуття може вважатись однією з найбільших його переваг, що відображає відповідність конструкції антропометричним особливостям стоп, функціональну досконалість і правильність вибору конструкції, матеріалів, способу виготовлення й оздоблення взуття певного призначення, ергономічну досконалість з погляду зручності взування і знімання взуття, користування ним, зменшення витрат м'язової енергії тощо;

- цілісність композиції кілкованого взуття забезпечує наявність повного комплексу зовнішніх ознак (в числі яких оригінальними є силует, форма, конструктивні і декоративні лінії) і можливість забезпечення потрібного кольору, фактури і інших характеристик матеріалів. Розміри, пропорції, ступінь контрастності, порядок розташування і чергування елементів оформлення кілкованого взуття, що сприймаються наочно, виражають цілісність і гармонійність.

Висновки

Наведена у роботі загальна характеристика кілкованого взуття є актуальним і вагомим доповненням до наявних навчальних видань і може бути використана під час підготовки студентів напряму «Товарознавство і торговельне підприємництво» та студентами, які вивчають взуття як ринковий товар.

Результати проведеного у роботі комплексного аналізу повної номенклатури споживних властивостей кілкованого взуття варто використовувати у вивченні нових моделей і конструкцій взуття, здійсненні аналізу споживних властивостей імпортного взуття, наданні кваліфікованих консультацій споживачам взуття, навчальному процесі з товарознавства та експертизи взуття.

Кілковане взуття за комплексом споживних властивостей вважається позитивним зразком використання сучасних матеріалів та технологій виготовлення, які забезпечують високий рівень споживних властивостей.

Напрями подальших досліджень: передбачається провести дослідження відгуків споживачів про переваги і недоліки взуття дерев'яно-кілкового методу кріплення.

Література

1. Беднарчук М. С. Напрями вдосконалення споживних властивостей взуття / М.С. Беднарчук, Н. І. Попович // Збірник наукових праць «Товарознавство та інновації» Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган- Барановського. – 2010. – Випуск 2. – С. 26 – 32.
2. Лиокумович В. Х. Структурный анализ качества обуви / В. Х. Лиокумович // М. : Легкая индустрия, 1980. – 160 с.
3. Половніков І. І. Теоретичні та експериментальні дослідження спортивного взуття для скейтбордингу : монографія / І. І. Половніков, Н. І. Попович, М. С. Беднарчук. – Львів : Вид-во ЛКА, 2012. – 404 с.
4. Кушнір М. К. Товарознавство непродовольчих товарів. Ч. III. Товарознавство взуттєвих товарів / М. К. Кушнір, Н. П. Тихонова. – К.: НМЦ “Укоопосвіта”, 2001. – 266 с.
5. Байдакова Л.І. Товарознавство. Непродовольчі товари: Взуттєві і хутряні вироби / Л.І. Байдакова. – К.: Вища школа, 2007. – 183 с.
6. Довідник-каталог взуттєвика (Складання заготовок верху взуття) / В. В. Олійникова, Н. Я.

- Біленко, Л. Т. Свістунова. – Київ: Київський Університет технології і дизайну – 370 с., 208 іл.
7. Беднарчук М. С. Товарознавчі аспекти формування національного ринку взуття : монографія / М. С. Беднарчук. – Львів : Вид-во ЛКА, 2009. – 476 с.
8. Зыбин Ю. П. Конструирование изделий из кожи / Ю. П. Зыбин. – М. : Легкая промышленность, 1982. – 263 с.
9. Иванов Н. Н. Технология обуви: учебник / Н. Н. Иванов, Х. Х. Лиокумович, М. М. Петрунина, Т. П. Швецова. – М.: Легкая индустрия, 1970. – 408 с.
10. Беднарчук М. С. Напрями вдосконалення споживних властивостей взуття / М.С. Беднарчук, Н. І. Попович // Збірник наукових праць «Товарознавство та інновації» Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган- Барановського. Випуск 2. Донецьк, 2010. – С. 26 – 32.
11. Лиокумович В. Х. Структурный анализ качества обуви / В. Х. Лиокумович // М. : Легкая индустрия, 1980. – 160 с.
12. Половніков І. І. Теоретичні та експериментальні дослідження спортивного взуття для скейтбордингу : монографія / І. І. Половніков, Н. І. Попович, М. С. Беднарчук. – Львів : Вид-во ЛКА, 2012. – 404 с.
13. Кушнір М. К. Товарознавство непродовольчих товарів. Ч. III. Товарознавство взуттєвих товарів / М. К. Кушнір, Н. П. Тихонова. – К.: НМЦ “Укоопосвіта”, 2001. – 266 с.
14. Байдакова Л.І. Товарознавство. Непродовольчі товари: Взуттєві і хутряні вироби. К.: Вища школа., 2007. – 183 с.
15. Довідник-каталог взуттєвика (Складання заготовок верху взуття) В. В. Олійникова, Н. Я. Біленко, Л. Т. Свістунова. – Київ: Київський Університет технології і дизайну - 370 с., 208 ілюстр.
16. Беднарчук М. С. Товарознавчі аспекти формування національного ринку взуття : монографія / М. С. Беднарчук. – Львів : Вид-во ЛКА, 2009. – 476 с.
17. Зыбин Ю. П. Конструирование изделий из кожи / Ю. П. Зыбин. – М. : Легкая промышленность, 1982. – 263 с.
18. Иванов Н. Н. Технология обуви / Н. Н. Иванов, Х. Х. Лиокумович, М. М. Петрунина, Т. П. Швецова // Учебник. Легкая индустрия, 1970. – 408 с.

Рецензія/Peer review : 10.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 685.34

Л.В. КОЗЛОВСЬКА

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВОДОПРОНИКНОСТІ ТА ВОДОПРОМОКЛОСТІ МАТЕРІАЛІВ ВЕРХУ СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

З метою вибору кращого матеріалу, який може використовуватись при виготовленні взуття для працівникам молочної промисловості, були проведені дослідження показників водопроникності й водопромоклості для оцінки здатності матеріалів пропускати вологу. На основі проведених досліджень отримано порівняння зразків матеріалів у сухому стані та у зволоженому стані.

Ключові слова: спеціальне взуття, юхта, кирза, водопроникність, водопромоклість, молочно промисловість, сухі зразки, зволожені зразки, статичні й динамічні умови.

L.V. KOZLOVSKA

Khmelnytsky National University

DEFINITIONS AND INDICATORS WATER PERMEABILITY AND WATER GOT WET MATERIAL TOP SPECIAL SHOES FOR WORKERS DAIRY PRODUCTS

Abstract - Working conditions in the dairy production environment characterized by aggressive and dictate specific requirements for the manufacture of footwear for employees dairy industry one of the most important requirements is the compliance is physical and hygienic properties, such as water permeability materials and water got wet material top. In order to establish better material that can be used in the manufacture of footwear workers dairy industry, were investigated in sealed water permeability and water got wet indicators to assess the ability materials to pass moisture. On the basis of studies comparing samples obtained materials in a dry state and in humidified state (in whey, yogurt and sour cream).

After analyzing the results of the above studies for making special footwear for employees of the dairy industry, it is advisable to use top material, such material as nubuck Oil, which provides water resistance and comfort shoes.

Keywords: special shoes, nubuck Oil, artificial leather, dairy industry, dry samples, wet samples, static and dynamic conditions, aggressive environment, leather with polymeric coating, water permeability and water got wet.

Постановка проблеми

Молочна промисловість – одна з провідних галузей народного господарства, яка забезпечує населення продуктами харчування. Зі значною конкуренцією на сировинному ринку виробництво готової молочної продукції все у більшій мірі концентрується на великих підприємствах, які вкладують значні

кошти в модернізацію виробництва, мобільно реагують на зміни кон'юнктури ринку, постійно збільшують свій асортимент та, щоб не втратити свою нішу ринку за умов сезонного дефіциту сировини, розширюють ринок збуту за рахунок експортних поставок. А вихід на світову арену ринку вимагає не лише високої продуктивності праці [2], а й забезпечення відповідних умов праці робітників цієї галузі. Адже від не дотримання цих умов можуть розвинутися професійні захворювання. Відомо, що професійні захворювання працівників та службовців розвиваються під впливом систематичного і тривалого впливу факторів, властивих певній професії, зокрема характерних для молочного виробництва. Одним із вагомих факторів молочного виробництва є тривалий вплив на працівників вологи та агресивного кислотного середовища. А тому спеціальні одяг та взуття повинні забезпечувати споживачу максимум захисту від вказаних факторів, а матеріали, з яких вони виготовляються повинні мати відповідні фізико-гігієнічні властивості, а саме вологозахисні, що характеризуються водопроникністю та водопромоклістю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У літературних джерелах [2, 4] наводиться багато інформації про спеціальне взуття різних методів кріплення та виготовленого з використанням різних матеріалів, як натуральних, так штучних і синтетичних. Однак немає інформації про спеціальне взуття, яке б одночасно захищало від комплексу шкідливих факторів і враховувало специфіку умов виробництва вітчизняної молочної промисловості. У спеціальній довідковій і фундаментальній літературі наведений лише опис спеціального взуття для захисту людини від різних видів небезпечних природних факторів. У довідниках відсутні також дані про показники важливих специфічних властивостей нових видів шкір, зокрема вологостійкості матеріалів верху комплексно з дією агресивного середовища.

Формулювання цілі статті

Молочне виробництво характеризується цілою низкою шкідливих виробничих факторів. Саме тому метою роботи є комплексне дослідження показників водопроникності та водопромоклості нових шкіряних матеріалів під впливом на них різних факторів молочного виробництва.

Виклад основного матеріалу

Умови праці молочного виробництва характеризуються підвищеною вологістю та агресивністю навколишнього виробничого середовища і диктують особливі вимоги до якості спеціального взуття для працівників молочної промисловості. А тому існує необхідність проведення досліджень комплексного впливу умов виробництва молочної промисловості на засоби захисту стопи та гомілки, а саме на деталі верху спеціального взуття, через які проникає значна частина вологи. Для оцінки вологозахисних властивостей спеціального взуття для працівників молочної промисловості використовують показники водопромоклості та водопроникності матеріалів верху, які характеризують здатність матеріалу пропускати вологу при односторонньому контакті з нею [3]. Водопромоклість залежить від здатності матеріалу змочуватися у воді. Швидке промокання не завжди визначає високу водопроникність, оскільки після набухання структурні елементи матеріалу та введені в нього речовини заповнюють міжструктурний простір і таким чином перешкоджають подальшому проникненню вологи. Водопромоклість визначається часом, що проходить з моменту контакту повітряно-сухого зразка з водою до моменту проникнення води на протилежну поверхню. Водопроникність визначається кількістю води (мл), що проходить через 1 см² площі мокрого зразка за 1 годину.

Для дослідження впливу молочного середовища на матеріали верху спеціального взуття були вибрані такі кисло-молочні продукти: кефір 2,5% - pH=4,2; сметана 20% - pH=4,7; сироватка - pH=5,8. Робочий день на підприємстві становить 8 годин і безпосередній вплив на взуття відбувається саме протягом цього часу. Вибрані матеріали верху взуття, які можуть використовуватись при виготовленні взуття для працівників молочної промисловості: «нубук ойл», шкіру натуральну з полімерним покриттям, штучну та синтетичну шкіри, - односторонньо змочували тридцять днів у сироватці, кефірі і сметані протягом 8 годин, а потім промивали й просушували до початку наступного робочого дня. У даній роботі визначалися показники водопроникності й водопромоклості для обраних 4-х груп взуттєвих матеріалів верху. Дослідження проводилися для зразків у сухому стані (контрольна група) та для зволжених (у сироватці, кефірі й сметані) зразків.

Розрізняють два методи випробувань шкіри на водопроникність та водопромоклість: в статичних умовах (коли зразок нерухомий) на приладі ПВС-2(ГОСТ 938.21-71); та в динамічних умовах (коли зразок піддається механічному деформуванню) на приладі ПВД-2 (ГОСТ 938.22-78).

Водопроникність визначали за формулою (1):

$$B_0 = \frac{V}{S \cdot t} \quad (1)$$

де V – об'єм води, мл, яка пройшла через матеріал площею σ , см² (10 см² – для досліджень в статичних умовах і 56 см² – в динамічних) за час t, години.

Визначення водопроникності та водопромоклості в статичних умовах.

Водопромоклість визначали як різницю часу закінчення та часу початку досліджу.

Водопроникність в статичних умовах визначали за формулою (1):

Результати випробувань і розрахунків сухих зразків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Водопроникність і водопомокність сухих зразків у статичних умовах

№ групи зразків	Матеріал	Водопомокність, хв	Об'єм води, що пройшла через зразок, мл	Водопроникність, мл/см ² ·год
1	Натуральна шкіра «нубук ойл»	12	4,8	0,48
2	Шкіра з полімерним покриттям	11	3,4	0,34
3	Штучна шкіра	13	1,6	0,16
4	Синтетична шкіра	38	1,05	0,11

Результати випробувань і розрахунків для 4-х груп зразків, проведених у статичних умовах, змочених у сироватці, кефірі й сметані наведені в таблицях 2, 3 і 4 відповідно.

Таблиця 2

Водопроникність і водопомокність змочених зразків у сироватці у статичних умовах

№ групи зразків	Матеріал	Водопомокність, хв	Об'єм води, що пройшла через зразок, мл	Водопроникність, мл/см ² ·год
1	Натуральна шкіра «нубук ойл»	11	4,2	0,42
2	Шкіра з полімерним покриттям	9	3,2	0,32
3	Штучна шкіра	12	1,3	0,13
4	Синтетична шкіра	34	1,2	0,12

Таблиця 3

Водопроникність і водопомокність змочених зразків у кефірі у статичних умовах

№ групи зразків	Матеріал	Водопомокність, хв	Об'єм води, що пройшла через зразок, мл	Водопроникність, мл/см ² ·год
1	Натуральна шкіра «нубук ойл»	10	4,3	0,43
2	Шкіра з полімерним покриттям	8	3,7	0,37
3	Штучна шкіра	12	1,4	0,14
4	Синтетична шкіра	34	1,2	0,12

Таблиця 4

Водопроникність і водопомокність змочених зразків у сметані у статичних умовах

№ групи зразків	Матеріал	Водопомокність, хв	Об'єм води, що пройшла через зразок, мл	Водопроникність, мл/см ² ·год
1	Натуральна шкіра «нубук ойл»	11	4,5	0,45
2	Шкіра з полімерним покриттям	8	4,0	0,40
3	Штучна шкіра	13	1,5	0,15
4	Синтетична шкіра	34	1,3	0,13

Визначення водопроникності та водопомокності в динамічних умовах

Водопомокність у хвилини вираховують діленням кількості подвійних ходів планки в момент промокання зразка на швидкість рухомої планки (120 подвійних ходів на хвилину).

Водопроникність в динамічних умовах визначали на машині ПВД-2 за формулою (1).

Результати випробувань і розрахунків сухих зразків представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Водопроникність і водопомокність сухих зразків у динамічних умовах

№ групи зразків	Матеріал	Кількість кроків	Водопомокність, хв.	Об'єм води, що пройшла через зразок, мл	Водопроникність, 10 ⁻⁴ мл/см ² ·год
1	Натуральна шкіра «нубук ойл»	1420	11,83	0,030	5,3
2	Шкіра з полімерним покриттям	1380	12,66	0,024	4,29
3	Штучна шкіра	220	1,83	0,045	8,04
4	Синтетична шкіра	1606	13,38	0,037	6,61

Результати випробувань і розрахунків зразків у динамічних умовах, змочених у сироватці, кефірі й сметані наведені в таблицях 6, 7 і 8 відповідно.

Таблиця 6

Водопроникність і водопромоклість змочених зразків у сироватці в динамічних умовах

№ групи зразків	Матеріал	Кількість кроків	Водопромоклість, хв.	Об'єм води, що пройшла через зразок, мл	Водопроникність, 10^{-4} мл/см ² ·год
1	Натуральна шкіра «нубук ойл»	1203	10,03	0,049	8,75
2	Шкіра з полімерним покриттям	1190	10,05	0,030	5,36
3	Штучна шкіра	191	1,59	0,049	8,75
4	Синтетична шкіра	187	10,55	0,050	8,93

Таблиця 7

Водопроникність і водопромоклість змочених зразків у кефірі в динамічних умовах

№ групи зразків	Матеріал	Кількість кроків	Водопромоклість, хв.	Об'єм води, що пройшла через зразок, мл	Водопроникність, 10^{-4} мл/см ² ·год
1	Натуральна шкіра «нубук ойл»	1198	9,98	0,045	8,04
2	Шкіра з полімерним покриттям	1111	9,88	0,025	4,46
3	Штучна шкіра	192	1,6	0,048	8,57
4	Синтетична шкіра	1256	10,47	0,042	7,50

Таблиця 8

Водопроникність і водопромоклість змочених зразків у сметані в динамічних умовах

№ групи зразків	Матеріал	Кількість кроків	Водопромоклість, хв.	Об'єм води, що пройшла через зразок, мл	Водопроникність, 10^{-4} мл/см ² ·год
1	Натуральна шкіра «нубук ойл»	1213	10,1	0,041	7,32
2	Шкіра з полімерним покриттям	1105	9,78	0,027	4,82
3	Штучна шкіра	202	1,68	0,047	8,39
4	Синтетична шкіра	1249	10,41	0,040	7,14

Результати експериментальних досліджень водопромоклості та водопроникності у вигляді гістограм представлені на рисунках 1-4.

Змочені сироваткою, кефіром та сметаною зразки натуральних шкір як в статичних так і в динамічних умовах починають пропускати вологу (водопромоклість) швидше, ніж зразки контрольної групи (сухі зразки). Такий же характер результатів досліджень водопромоклості отримано для всіх видів зразків в динамічних умовах, хоча зразки зі штучної та синтетичної шкір, порівняно зі статичними умовами досліджень, значно швидше починають пропускати вологу, в той час як для зразків з натуральної шкіри «нубук ойл» практично потрібно стільки ж часу, як і для статичних умов досліджень. Натуральна шкіра з полімерним покриттям в динамічних умовах досліджень, порівняно зі статичними умовами, довше витримує до початку пропускання вологи, незалежно від виду попереднього змочування.

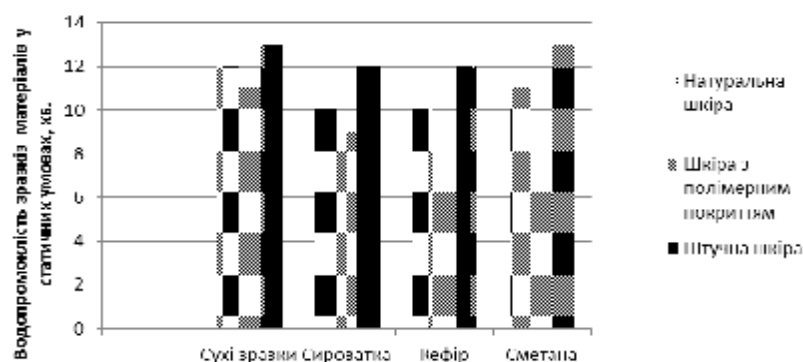


Рис. 1. Водопромоклість зразків матеріалів у статичних умовах.

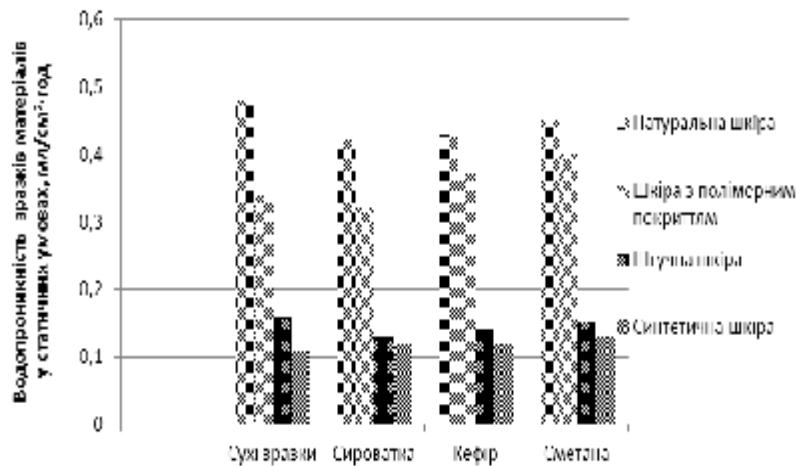


Рис. 2. Водопроникність зразків матеріалів у статичних умовах.

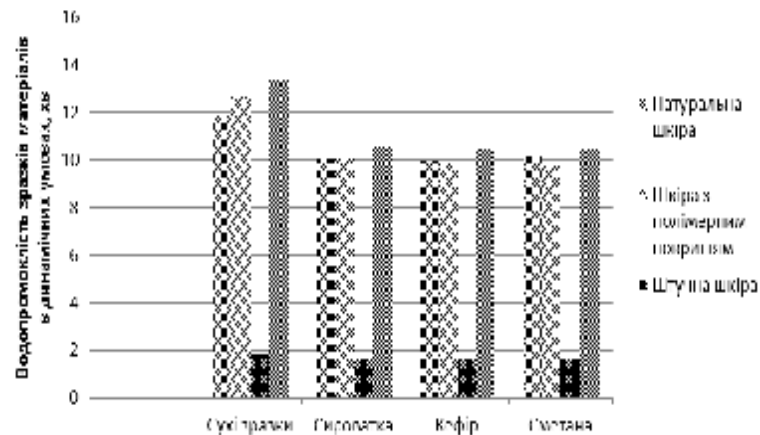


Рис. 3. Водопромокність зразків матеріалів в динамічних умовах

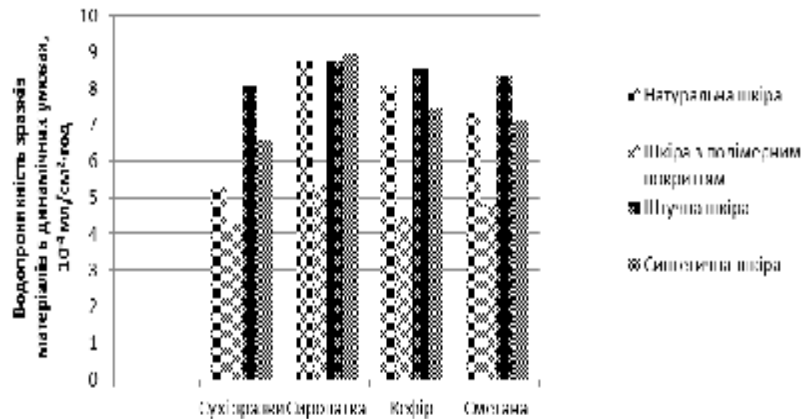


Рис. 4. Водопромокність в статичних та динамічних умовах змочених зразків у сметані.

Водопроникність попередньо змочених зразків усіх видів матеріалів в статичних умовах проведення досліджень, за виключенням зразків із синтетичної шкіри, характеризується зменшенням показників щодо контрольної групи зразків. Водопроникність для зразків із синтетичної шкіри, навпаки характеризується вищими показниками. В динамічних умовах проведення досліджень водопроникність для всіх видів матеріалів незалежно від характеру попереднього змочування збільшується порівняно з показниками в групі контрольних зразків.

Висновки

Результати проведених досліджень водопроникності та водопромокності двох видів натуральних шкір, штучної та синтетичної шкіри підтверджують встановлені раніше положення та результати [5].

Отримані експериментальні дані свідчать, що сучасні матеріали для верху взуття, зокрема шкіра натуральна "нубук ойл" та шкіра натуральна з полімерним покриттям за своїми властивостями водопроникності та водопромокності відповідають або перевершують відповідні показники натуральних шкір, що на даний час застосовуються для виготовлення спеціального взуття [3], а тому можуть бути рекомендовані для виготовлення спеціального взуття для працівників молочної промисловості.

Література

1. ISO 8782-1:1998 «Safety, protective and occupational footwear for professional use Part 1: Requirements and test methods» (Взуття безпечне, захисне та робоче виробничого призначення. Частина 1. Вимоги і методи випробувань). – К.: Держспоживстандарт України, 2003.
2. Александров С.П. Повышение качества и конкурентоспособности отечественной спецобуви / С.П. Александров, Д.В. Лазарева // Кожев.-обув. пром-сть. – 2008. – № 6. – С. 34-37.
3. Зурабян К.М. Материаловедение изделий из кожи / К.М. Зурабян, Б.Я. Краснов, М.М. Берштейн. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 416 с.
4. Солтик І.Т., Знаходження показників водонепроникності й водопомоклості верху для виготовлення взуття працівникам молочної промисловості / І.Т. Солтик, А.Б. Домбровський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 3. – С. 91-94.
5. Лиокумович В.Х. Структурный анализ качества обуви / В.Х. Лиокумович. – М.: Легкая индустрия, 1980. – С. 66-68.

Рецензія/Peer review : 10.10.2015 р. Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 677.11.021

К.М. КЛЕВЦОВ

Херсонський національний технічний університет

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ЛУБ'ЯНИХ ВОЛОКОН З ЗАДАНИМИ КІНЦЕВИМИ ЯКІСНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В роботі визначалися основні закономірності дроблення луб'яних комплексів з метою отримання луб'яних волокон різного функціонального призначення. В результаті аналізу отриманих експериментальних даних запропоновано використовувати технологію з урахуванням впливу суттєвих вхідних факторів, що дозволяє оптимізувати процеси керування режимами роботи запропонованого технологічного устаткування.

Ключові слова: луб'яне волокно, декортикація, математична модель.

K.N. KLEVTSOV

Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF PROCESSES OF BAST FIBERS FROM A GIVEN ULTIMATE QUALITY CHARACTERISTICS

The paper identifies the basic laws of bast crushing facilities to obtain bast fibers of different functions. An analysis of the experimental data suggested to use technology for the effect of material input factors to optimize process control modes proposed process equipment.

Keywords: bast fiber decortication, mathematical model.

Вступ

Для оптимізації параметрів налаштування обладнання та визначення тривалості обробки, при оптимальних кінцевих якісних показниках волокна необхідно розробити математичну модель процесу руйнування елементарного луб'яного волокна з урахуванням його реальної складної багаточислової будови з ймовірнісними фізико-механічними і геометричними характеристиками.

Вивчення закономірностей дроблення луб'яних комплексів є важливим етапом вирішення завдання оптимізації технологічних процесів їх обробки з метою отримання луб'яних волокон різного функціонального призначення. Основними видами деформації на протязі всіх технологічних операцій і, особливо, в процесі механічної обробки є деформація рушення технічних комплексів. В даний час єдиної теорії рушення, що враховує реальну будову цього комплексу, немає. Для вирішення цього питання необхідно обґрунтувати розробку моделі дроблення двох елементарних волокон, що представляють собою найпростіший варіант луб'яного комплексу.

Експериментальна частина

Для визначення й порівняння великої кількості змінних факторів, що обумовлюють технологічну цінність волокна, необхідно розрахувати коефіцієнт конкордації за методом Кендалла [1, 2].

При вивченні цього процесу було розглянуто наявну на даний час наукову інформацію й відповідно до неї обрано сім факторів ($k = 7$), які необхідно проранжувати з урахуванням ступеня їх впливу на процес виділення костриці.

До даних факторів відносяться: X_1 – відносна заповнення барабана розмелювальними кулями, j , %; X_2 – відносна швидкість обертання барабана, y , %; X_3 – вид розмелювальних тіл; X_4 – вологість сировини, W , %; X_5 – густина завантаження сировини, r , кг/м^3 ; X_6 – тривалість обробки, t , хв; X_7 – конструктивні особливості установки.

Оскільки попередні дослідження теоретичних передумов взаємозв'язку волокна з деревиною дозволяють виявити початкові параметри переробки, експерименти проводилися для різноманітних умов при: X_3 - вид розмелювальних тіл- кулі; X_4 - вологість сировини – $W = 13\%$; X_5 - густина завантаження сировини – $r = 80 \text{ кг/м}^3$; X_6 - тривалість обробки – $t = 12 \text{ хв}$.

Одержанні за п'ятьма вимірюванням усереднені результати експериментів за вмістом костриці K та виходом волокна B представлено відповідно в таблицях 1, 2.

Таблиця 1

Залежність вмісту костриці від відносного заповнення та відносної швидкості обертання барабана

Відносна швидкість обертання барабана, y , %	Вміст костриці, K , %				
	$j = 10\%$	$j = 20\%$	$j = 30\%$	$j = 40\%$	$j = 50\%$
$y = 20\%$	12,5	11,3	6,9	4,4	3,1
$y = 40\%$	9,4	6,0	3,5	3,2	2,9
$y = 60\%$	7,8	4,7	4,1	3,2	2,7
$y = 80\%$	6,1	4,3	3,4	2,9	2,0

Таблиця 2

Залежність виходу волокна від відносного заповнення та відносної швидкості обертання барабана

Відносна швидкість обертання барабана, y , %	Вихід волокна, B , %				
	$j = 10\%$	$j = 20\%$	$j = 30\%$	$j = 40\%$	$j = 50\%$
$y = 20\%$	7,1	10,6	19,4	23,0	25,1
$y = 40\%$	14,4	20,1	25,2	27,1	27,6
$y = 60\%$	23,3	26,2	29,1	29,6	28,5
$y = 80\%$	21,8	21,0	19,3	17,1	10,4

При статистичній обробці результатів експериментів, у тому числі обчислювальних, застосовувалися кореляційний і дисперсійний аналізи та інші статистичні методи.

При визначенні статистичних характеристик якісних показників волокна використовувалися методи апроксимації отриманих значень. У результаті апроксимації експериментальних даних представлених у таблицях 3, 4 були одержані залежності виходу волокна $B(y, j)$ (1) та вмісту костриці $K(y, j)$ (2) від швидкості обертання і відносного заповнення барабана розмелювальними кулями для заданого режиму обробки (при вологості $X_4 - W = 13\%$; густина завантаження сировини $X_5 - r = 80 \text{ кг/м}^3$; тривалість обробки $X_6 - t = 12 \text{ хв}$; конструктивних особливостей установки X_7 – декортикатор барабанного типу).

Таблиця 3

Розраховані дані за апроксимованими залежностями вмісту костриці від відносного заповнення барабана

Відносна швидкість обертання барабана, y , %	Апроксимоване значення вмісту костриці				
	$j = 10\%$	$j = 20\%$	$j = 30\%$	$j = 40\%$	$j = 50\%$
$y = 20\%$	0,125	0,108	0,072	0,040	0,032
$y = 40\%$	0,097	0,064	0,044	0,034	0,03
$y = 60\%$	0,075	0,043	0,032	0,03	0,026
$y = 80\%$	0,062	0,045	0,036	0,03	0,02

$$B(y, f) = 6.02 \cdot 10^{-2} - 2.3 \cdot 10^{-2} \cdot y + 34 \cdot y^2 + (-2.38885 + 12.259 \cdot y - 12.411 \cdot y^2) \cdot f + (11.265 - 42.806 \cdot y + 39.1568 \cdot y^2) \cdot f^2 + (-12.833 + 45.335 \cdot y - 41.66875 \cdot y^2) \cdot f^3, \quad (1)$$

$$K(y, f) = 1.595 \cdot 10^{-2} + 54725 \cdot y - 56375 \cdot y^2 + (2.316625 - 11.023 \cdot y + 9.528 \cdot y^2) \cdot f + (-9.6653 + 39.5817 \cdot y - 32.7906 \cdot y^2) \cdot f^2 + (10.188275 - 39.3986 \cdot y + 31.773 \cdot y^2) \cdot f^3. \quad (2)$$

Використання апроксимованої математичної моделі комплексу на рівні елементарного волокна дозволяє надати найбільш детальну на сьогоднішній день інформацію для проектування вузлів і механізмів, що беруть участь у технологічному процесі обробки луб'яної сировини і вибрати їх оптимальні конструктивні параметри.

Застосування даної моделі дозволяє досліджувати характер руйнування луб'яного комплексу залежно від великої кількості факторів і вивчити вплив кожного фактора окремо на досліджуваний процес, що неможливо провести у лабораторному експерименті в силу одночасної зміни всіх факторів і можливо

тільки при математичному моделюванні.

Таблиця 4

Розраховані дані за апроксимованими залежностями виходу волокна від відносного заповнення барабана

Відносна швидкість обертання барабана, Y , %	Апроксимоване значення виходу волокна				
	$j = 10\%$	$j = 20\%$	$j = 30\%$	$j = 40\%$	$j = 50\%$
$Y = 20\%$	0,063	0,11	0,177	0,231	0,241
$Y = 40\%$	0,161	0,217	0,264	0,295	0,301
$Y = 60\%$	0,215	0,251	0,272	0,276	0,258
$Y = 80\%$	0,225	0,212	0,202	0,176	0,113

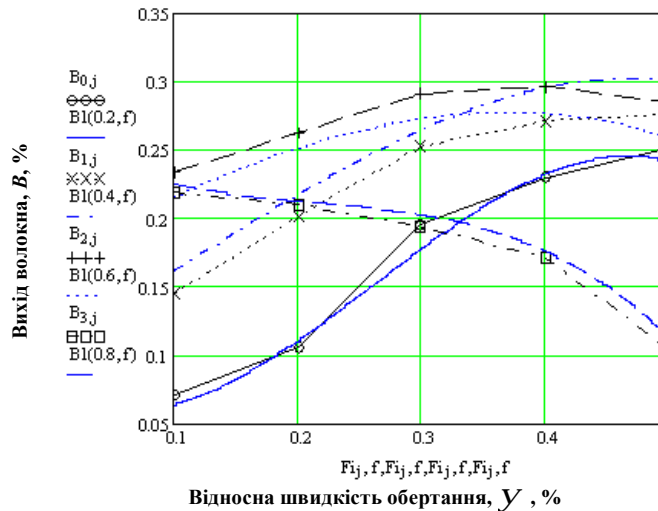


Рис. 1. Порівняльні залежності експериментальних та апроксимованих даних за виходом волокна: $B_{1}(0,2, f)$ – відповідно експериментальні та апроксимовані значення виходу волокна при $Y = 20\%$; $B_{1}(0,4, f)$ – відповідно експериментальні та апроксимовані значення виходу волокна при $Y = 40\%$; $B_{1}(0,6, f)$ – відповідно експериментальні та апроксимовані значення виходу волокна при $Y = 60\%$; $B_{1}(0,8, f)$ – відповідно експериментальні та апроксимовані значення виходу волокна при $Y = 80\%$.

Створення математичної моделі руйнування технічного комплексу луб'яних волокон і моделі його подальшого дроблення, з урахуванням реальної будови і можливістю завдання імовірнісних фізико-механічних властивостей кінцевого волокна представлено у вигляді порівняльних графічних залежностей експериментальних та апроксимованих даних за виходом волокна B %, та вмістом костриці K %, в залежності від режимів роботи обладнання (рис. 1, 2).

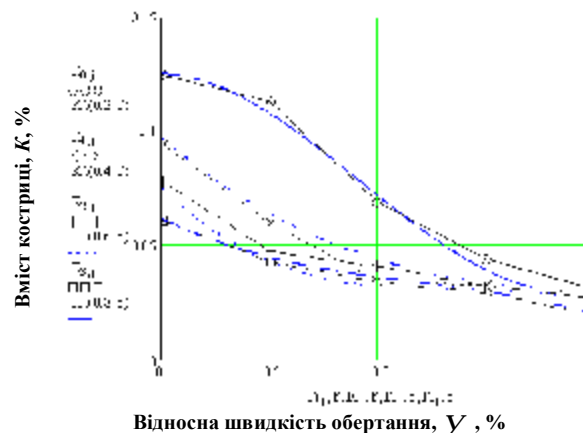


Рис. 2. Порівняльні залежності експериментальних та апроксимованих даних за вмістом костриці: $K_{1}(0,2, f)$ – відповідно експериментальні та апроксимовані значення вмісту костриці при $Y = 20\%$; $K_{1}(0,4, f)$ – відповідно експериментальні та апроксимовані значення вмісту костриці при $Y = 40\%$; $K_{1}(0,6, f)$ – відповідно експериментальні та апроксимовані значення вмісту костриці при $Y = 60\%$; $K_{1}(0,8, f)$ – відповідно експериментальні та апроксимовані значення вмісту костриці при $Y = 80\%$.

Похибка апроксимації складає менш 5%. Двовимірні залежності експериментальних та апроксимованих значень для наочності відображаємо у вигляді поверхонь відгуку, що наведені на рисунках 3, 4.

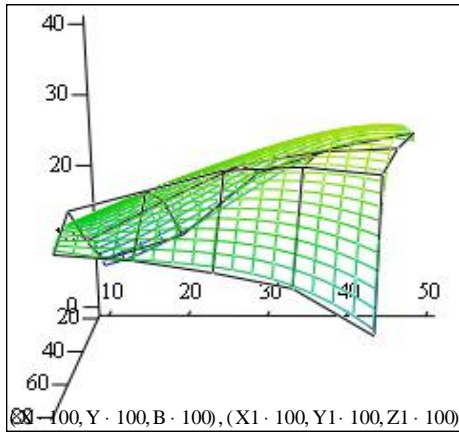


Рис. 3. Апроксимовані поверхні відгуку залежності виходу волокна від відносної швидкості обертання та відносного заповнення барабана

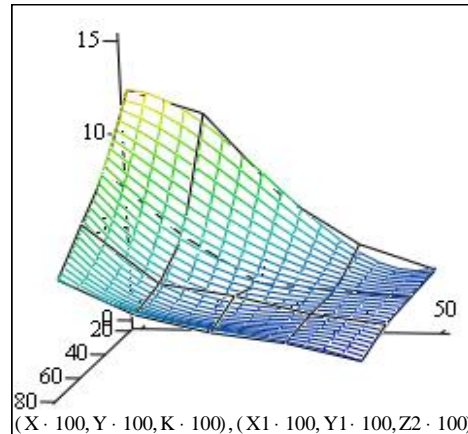


Рис. 4. Апроксимовані поверхні відгуку залежності вмісту костриці від відносної швидкості обертання та відносного заповнення барабана

Значення вмісту костриці K та виходу волокна B суттєво змінюються в залежності від зміни таких факторів, як вологість сировини W , густина завантаження сировини r та тривалість обробки t .

На сьогодні математичної моделі механічного руйнування технічних комплексів волокна, що враховує його складну будову немає. Характеристики міцності волокон визначені тільки експериментально. Визначити вплив факторів будови елементарного волокна на розривне навантаження можливо тільки за допомогою регресійного моделювання, внаслідок складності проведення лабораторних експериментів.

Тому на основі одержаних залежностей (1, 2) були знайдені формули, за якими з'являється можливість розрахунку поправочних коефіцієнтів до отриманих залежностей виходу волокна $B(y, j)$ (1) та вмісту костриці $K(y, j)$ (2) від швидкості обертання і відносного заповнення барабана розмелювальними кулями.

Перший коефіцієнт характеризує залежність вмісту костриці K від вологості трести W (3):

$$K_w(W) = 0.1455 \cdot e^{14.79W} \quad (3)$$

Графіки цієї залежності для експериментальних та апроксимованих даних наведено на рисунку 5.

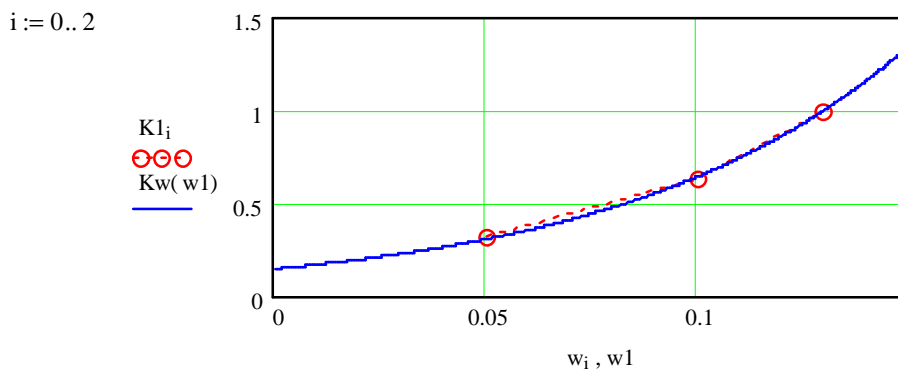


Рис. 5. Залежність вмісту костриці від вологості трести: $K1_i$ – експериментальні дані; $Kw(w1)$ – апроксимовані дані.

Другий коефіцієнт характеризує залежність вмісту костриці K від густини завантаження r (4):

$$K_r(r) = 6.287 - 0.837r + 0.00147r^2 \quad (4)$$

Графіки цієї залежності для експериментальних та апроксимованих даних наведено на рисунку 6.

Третій коефіцієнт характеризує залежність виходу B волокна від тривалості обробки t (5):

$$B_t(t) = 1.76 - 0.081t + 0.00104t^2 \quad (5)$$

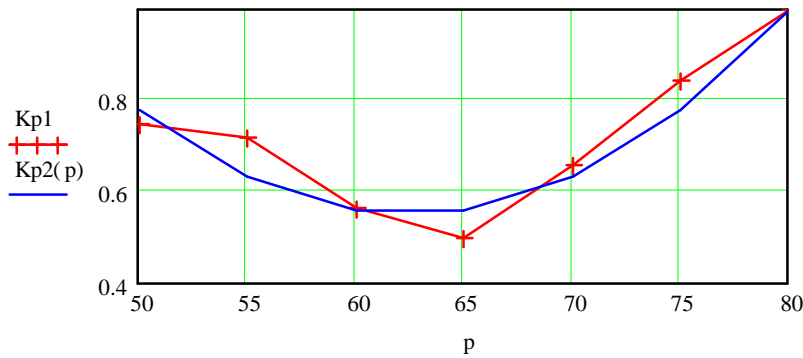


Рис. 6. Залежність вмісту костриці від густини завантаження:
1 – експериментальні дані; 2 – апроксимовані дані.

Графічне відображення цієї залежності для експериментальних та апроксимованих даних виходу волокна від тривалості обробки наведено на рисунку 7.

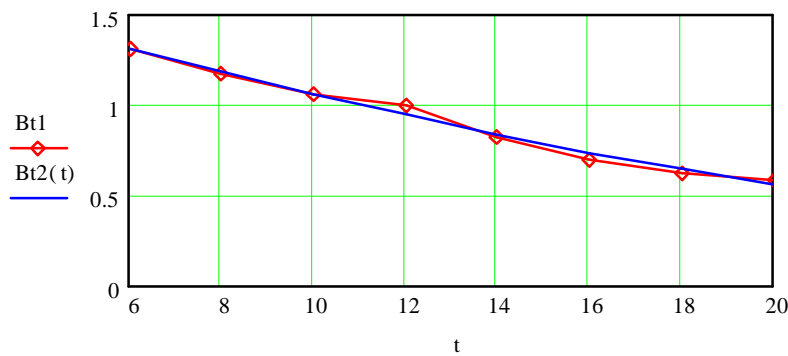


Рис. 7. Залежність виходу волокна від тривалості обробки:
Bt1 – експериментальні дані; Bt2(t) – апроксимовані дані.

Четвертий коефіцієнт характеризує залежність вмісту костриці K від тривалості обробки t (6):

$$K_t(t) = 58.811 \cdot e^{-0.2829t} \quad (6)$$

Порівняльні графіки експериментальних та апроксимованих отриманих значень вмісту костриці від тривалості обробки наведено на рисунку 8.

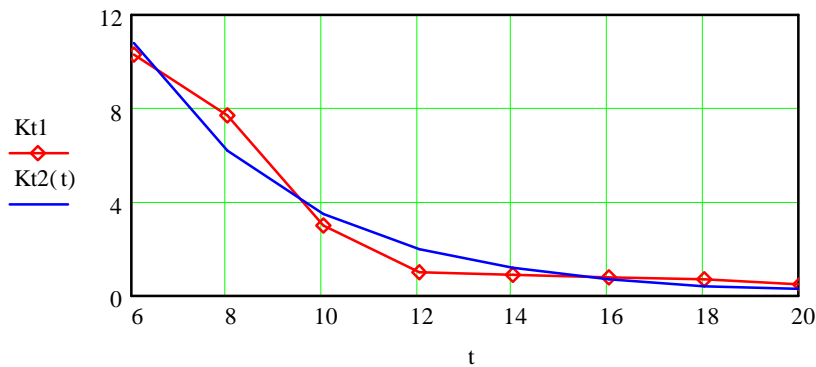


Рис. 8. Залежність вмісту костриці від тривалості обробки:
Kt1 – експериментальні дані; Kt2(t) – апроксимовані дані.

П'ятий коефіцієнт характеризує залежність виходу волокна B від густини завантаження трести r (7):

$$B_r(r) = \frac{r}{r_{\max}} \quad (7)$$

де $r_{\max} = 80 \text{ кг/м}^3$.

Загальні вирази для прогнозування виходу волокна та вмісту костриці при допустимих значеннях суттєвих параметрів режимів обробки набувають вигляд (8, 9):

$$B_{II}(y, j, r, W, t) = B_1(y, j) \cdot B_t(t) \cdot B_r(r), \quad (8)$$

$$K_{II}(y, j, r, W, t) = K_1(y, j) \cdot K_w(W) \cdot K_r(r) \cdot K_t(t). \quad (9)$$

Для визначення оптимальних режимів роботи обладнання (y, j, r, W, t) необхідно враховувати вимоги замовника до різних видів волокнистої сировини, тобто її кінцеві геометричні характеристики.

Динаміка змін якісних характеристик від тривалості обробки наведено в таблицях 5, 6.

Таблиця 5

Зміна лінійної густини від тривалості обробки

Тривалість обробки, t , хв	6	8	10	12	14	16	18	20
Лінійна густина, q , текс	15,1	12,3	10,2	6,3	5,2	4,4	3,1	2,2

Таблиця 6

Зміна розривного навантаження від тривалості обробки

Тривалість обробки, t , хв	6	8	10	12	14	16	18	20
Розривне навантаження, R_n , даН	38,6	34,7	31,2	29,8	24,1	20,5	18,4	17,3

Динаміку зміни якісних показників до яких відносяться лінійна густина та розривне навантаження можна описати за допомогою виразів (10, 11):

$$q(t) = 34.223 \cdot t^{-0.1315t}, \quad (10)$$

$$R_n(t) = 56.1858 \cdot e^{-0.06t}. \quad (11)$$

Порівняльні графіки експериментальних та апроксимованих залежностей зміни якісних показників волокна наведено на рисунках 9, 10.

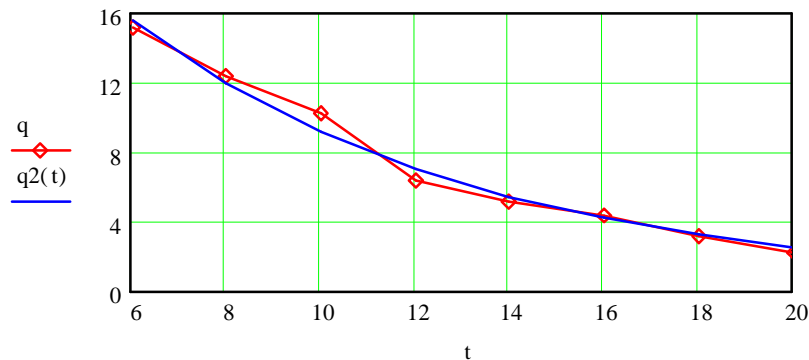


Рис. 9. Залежність лінійної густини волокна від тривалості обробки трести: q – експериментальні дані; $q2(t)$ – апроксимовані дані.

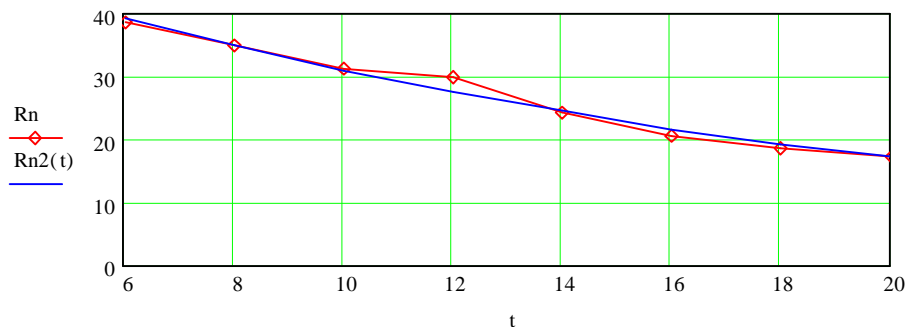


Рис. 10. Залежність розривного навантаження волокна від тривалості обробки: R_n – експериментальні дані; $Rn2(t)$ – апроксимовані дані.

Висновки

Аналіз результатів досліджень показав, що отримані залежності (3-11) дають можливість визначити оптимальні параметри процесу первинної переробки луб'яної сировини для одержання волокон із заданими якісними характеристиками.

Для цього, по-перше, необхідно визначити основні чинники якості отриманих волокон: розривне навантаження R та лінійну щільність r . Ці показники дозволяють визначити необхідну тривалість обробки сировини t на барабанній декортикаційній установці за залежностями, що наведені на рисунках 9, 10.

По-друге, для визначення оптимальних режимів роботи обладнання необхідно визначити поправкові коефіцієнти за формулами (3, 4, 7), що враховують вплив таких суттєвих факторів, як вологість

W та густину завантаження сировини Γ .

Після отримання значень поправкових коефіцієнтів та при відомій тривалості обробки сировини t необхідно з урахуванням виразів (1, 2) скласти рівняння залежності вихідних факторів за виразами (8, 9), що дозволяють проводити аналіз впливу технологічних параметрів (відносної швидкості обертання барабана U та його відносного заповнення розмелювальними кулями j) на вихід волокна B і вміст костриці K .

Після встановлення значень усіх вхідних факторів, що суттєво впливають на вихідні характеристики (вихід волокна B та вміст костриці K), можна визначити оптимальну тривалість обробки луб'яної сировини для отримання необхідної кількості готової продукції із заданими кінцевими показниками якості.

Таким чином, можна стверджувати, що для одержання неорієнтованого луб'яного волокна із заданими кінцевими якісними показниками необхідно використовувати запропоновану технологію з урахуванням впливу суттєвих вхідних факторів на основі аналізу моделі технологічного процесу первинної переробки луб'яної сировини, що дозволяє оптимізувати процеси керування режимами роботи запропонованого технологічного устаткування.

Література

1. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в лёгкой и текстильной промышленности) / В.Б. Тихомиров. – М.: Лёгкая индустрия, 1974. – 262 с.
2. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования эксперимента / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 215 с.

Рецензія/Peer review : 30.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н., професор Чурсіна Л.А.

УДК 677.047.622.112.2

Ю.В. КОШЕВКО

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВЗАЄМОДІЇ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ РЕЧОВИН АПРЕТУ З ТЕКСТИЛЬНИМ МАТЕРІАЛОМ

В роботі поданий матеріал по дослідженню механізму взаємодії зв'язувальних речовин апрету з текстильним матеріалом. Для визначення наявності утворених хімічних зв'язків в структурі волокон матеріалу, який оброблений апретом за різних умов використано метод інфрачервоної спектроскопії. На основі цих даних розрахована кількість поперечних зв'язків, в яких азот зв'язується зі структурою віскози. Доведено, що за рахунок вібраційних навантажень кількість таких зв'язків зростає в рази, що гарантує стабільність утвореної форми та якість при формуванні в полі динамічних навантажень.

Ключові слова: формування, головки головних уборів, апрет, хімічні зв'язки, спектр поглинання, азот.

Y. V. KOSHEVKO

Khmelnytsky national university, Khmelnytsky, Ukraine

DETERMINATION THE MECHANISM OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN THE DRESSING SUBSTANCE AND TEXTILE MATERIAL

In-process the given material is on research of mechanism of co-operation of relating matters of dressing with textile material. For determination of presence of well-educated chemical connections in the structure of fibres of material which is treated dressing the method of infra-red spectroscopy is at different terms used. Keywords: forming, centrifugal efforts, heads of head-dresses, factors of proces forming, dynamic methods of forming. On the basis of these information the expected amount of tie-bars in which nitrogen associates after the structure of viscose. It is well-proven that due to the oscillation loadings the amount of such connections grows in times, that guarantees stability of well-educated form and quality at forming in the field of the dynamic loadings.

Keywords: forming, heads of head-dresses, dressing, chemical connections, spectrum of absorption, nitrogen.

Вступ

Для надання деталям швейних виробів необхідної жорсткості і закріплення об'ємної форми доцільно використовувати передконденсати термореактивних смол, а для гідрофобізації – кремнійорганічні сполуки. За літературними даними застосування кремнійорганічних сполук дозволяє надавати текстильним матеріалам не тільки гідрофобності, а також ряд властивостей: покращення зовнішнього вигляду, поглиблення забарвлення, підвищення стійкості до тертя. Однак, розроблені промисловістю препарати на основі кремнійорганічних полімерів, не повністю задовольняють потреби оздоблювального виробництва, мають багато недоліків [1 – 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження показали, що застосування кремнійорганічних сполук разом із передконденсатами термореактивних смол не дозволяє досягти необхідної жорсткості і гідрофобності, які потрібні для якісної

обробки деталей швейних виробів. Перспективним напрямком для надання текстильним матеріалам різних ефектів є використання акрилових і стирол-акрилових дисперсій вітчизняного виробництва, які випускаються під торговою маркою ЛакритексTM [3 – 4]. Вітчизняні дисперсії, є сополімерами стиролу, бутилакрилату і метакрилової кислоти і розроблялись із врахуванням впливу властивостей кожного мономеру. Так, стирол надає плівкам із полімеру жорсткості, бутилакрилат є внутрішнім пластифікатором, що органічно входить в макромолекулу акрилового сополімеру. Звичайні пластифікатори з часом дуже легко мігрують до поверхні плівки, прискорюючи тим самим її старіння. Залишаючись на поверхні полімеру, вони роблять його липким та неприємним на дотик. Внутрішні пластифікатори надають полімерам еластичності, яка зберігається постійно [5]. Модифікуючим мономером, що містить функціональні карбоксильні групи, які впливають на властивості полімерів, є метакрилова кислота. Перевагою введення у гнучкі молекули акрилатів даних атомних груп є можливість "структуризації" акрилових полімерів з утворенням просторової сітки внаслідок виникнення водневих зв'язків.

Формування мети статті

З метою покращення якості виконання технологічної операції формування головки головних уборів з тканин є необхідним дослідження механізму взаємодії зв'язуючих речовин апрету з текстильним матеріалом.

Виклад основного матеріалу досліджень

З урахуванням рекомендацій [9,10] за критерій оцінки якості формування обрано кількість поперечних зв'язків, які утворені предконденсатом термореактивної смоли між суміжними макромолекулами віскози, яка являється одним із компонентів досліджуваних тканин.

Для визначення наявності утворених хімічних зв'язків в структурі волокон матеріалу, який оброблений апретом за різних умов використано метод інфрачервоної спектроскопії [6-8]. В процесі виконання досліджень отримані ІЧ-спектри тканин. На рисунку 1 наведено спектри напіввовняної пальтової тканини (арт. 3220), обробленої рідинно-активним робочим середовищем (РАРС), яким є стирол-акрилова дисперсія, при вільному поглинанні розчину та при дії вібраційних навантажень у поєднанні з тиском під час обробки розчином. Дослідження проведено на ІЧ-спектрометрі AVATAR-360 з ІЧ-мікроскопом Continuum за таких умов:

діапазон реєстрації спектра – 4000-650 cm^{-1} ;
роздільна здатність – 4 cm^{-1} ;
кількість сканів – 200.

Зразки для дослідження відокремлено механічним способом у полі зору мікроскопа за допомогою препарувальної голки та пінцета. Реєстрацію спектрів проведено у режимі «пропускання-відбивання» на скляній пластині з металізованою поверхнею.

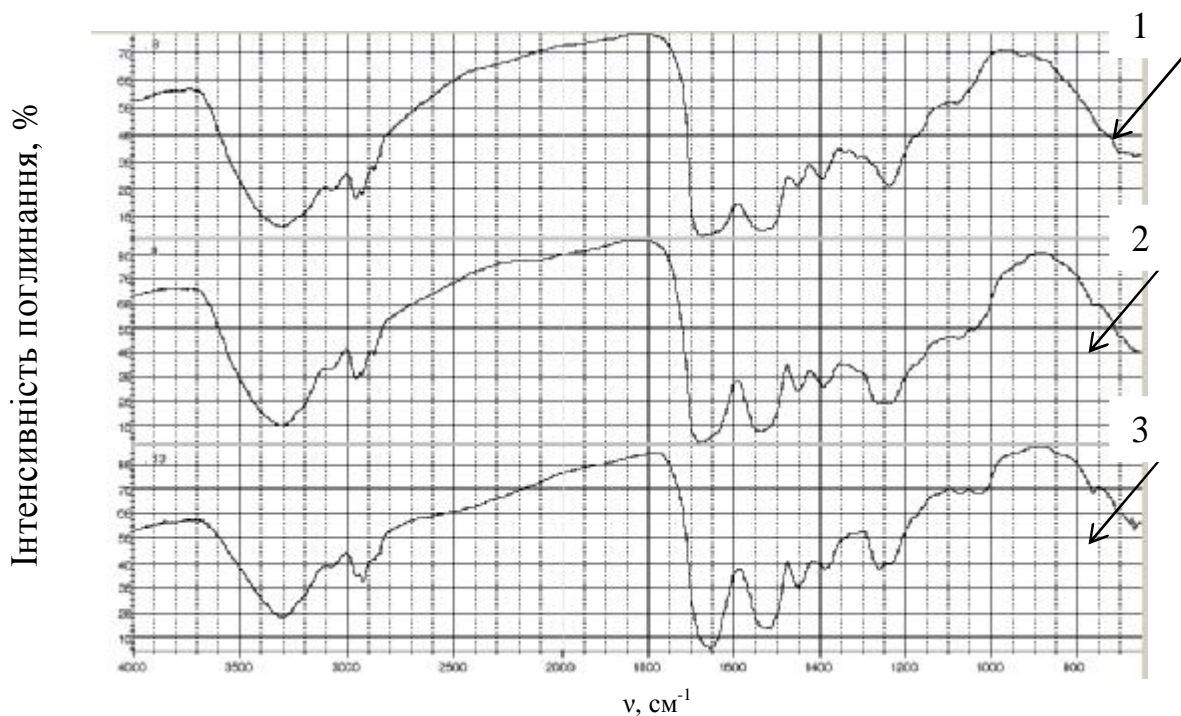


Рис.1– ІЧ-спектри текстильного матеріалу:

1 –пальтова тканина (арт. 3220) без оброблення; 2 – оброблена стирол-акриловою дисперсією при вільному поглинанні; 3 – оброблена стирол-акриловою дисперсією при дії вібраційного способу формування з використанням асинхронних коливань.

Аналіз спектрів поглинання вказує на необхідність відмітити, що при нанесенні апрету в спектральній області 3600-3200 cm^{-1} спостерігається зменшення поглинання карбоксильних груп, особливо при обробці в присутності вібраційних навантажень. Це ймовірно пов'язано з взаємодією карбоксильних

груп з оксиметилольними групами диметилсечовини. Про взаємодію макромолекул вовни із зшиваючим агентом свідчить підсилення інтенсивності смуги поглинання в області 1520 см^{-1} .

Збільшення інтенсивності смуги поглинання з частотою 900 см^{-1} характеризує глибину процесу утворення сітчастих структур. Таким чином, зміни в області 1600 см^{-1} в спектрі матеріалу, обробленого стирол-акриловою дисперсією зі зшиваючим агентом, вказує на утворення водневих зв'язків між волокном, диметилтетраметилсечовиною та акриловим співполімером. Інтенсивніше процес відбувається при вібраційному навантаженні на текстильний матеріал.

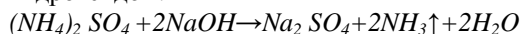
Акрилові співполімери, які містять реакційно здатні карбоксильні групи можуть утворювати гнучкі сітчасті структури, спільно з диметилтетраметилсечовиною.

Експериментальні дані, свідчать про те, що використання даного складу апрету для стабілізації форми деталей головних уборів із текстильних матеріалів вовняно-віскозного вмісту приводить до збільшення міцності, формостійкості та інших фізико-механічних показників. Оскільки показники зберігаються в процесі експлуатації, це дозволяє припустити утворення хімічних зв'язків між функціональними групами целюлози та компонентів формозакріплюючого апрету і обумовлює характер розподілу апрету в структурі матеріалу (рис. 2 – 3).

З рисунків видно доцільність використання вібраційного навантаження при просоченні тканини розчином, оскільки розміри вічок між переплетеннями при поглинанні суттєво більші.

Якість формованої деталі головного убору визначається її стійкістю в часі, яка в значній мірі залежить від специфіки формування хімічних зв'язків між субстратом та хімічним середовищем.

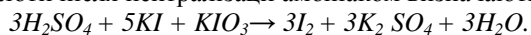
Формування таких зв'язків залежить від вмісту в волокні азоту. Визначення вмісту азоту в волокні здійснюють методом К'ельдаля шляхом окиснення концентрованою сульфатною кислотою. Органічні речовини, що містять азот, під дією концентрованої сульфатної кислоти перетворюються у вуглекислий газ і воду, виділяючи нітроген у вигляді амоніаку, який з надлишком сульфатної кислоти утворює амоній сульфат. Амоній сульфат кількісно визначають при розкладанні його натрій гідроксидом:



Величина наважки волокнистого матеріалу визначається вмістом у волокні азоту і повинна містити 0,5-1,5 мг азоту для мікрометоду, 30-50 мг азоту для макрометоду. Для того, щоб розчинення матеріалу відбувалося швидше його необхідно подрібнити. Розчинення та окиснення волокнистого матеріалу здійснюється за рахунок концентрованої хімічно чистої сульфатної кислоти густиною 1,84. Як каталізатор використовують суміш безводних купрум (II) сульфату і калій сульфату. Підготовлений волокнистий матеріал, каталізатор і сульфатну кислоту (5-7 мл) завантажують в колбу К'ельдаля. Після цього колбу сполучають зі зворотним холодильником і нагрівають обережно, щоб реакційна маса не піднімалась до верхньої частини колби. Реакційну масу підтримують у стані слабого кипіння до закінчення процесу окиснення (близько 2 годин).

Реакційну масу після охолодження розбавляють дистильованою водою (100 мл) і переносять в колбу для перегонки, додаючи шматочки пемзи для рівномірного кипіння рідини та відгонки амоніаку. Нижній кінець трубки холодильника повинен бути занурений в колбу з сульфатною кислотою (25 мл, 0,5 Н), щоб запобігти втратам амоніаку. В колбу для перегонки через крапельну воронку вливають необхідну кількість натрій гідроксиду (45 мл, концентрація 200 г/л) і нагрівають реакційну масу. Кінець перегонки визначають за об'ємом перегнаної рідини (100 мл).

У результаті титрування основного та контрольного дослідів визначають вміст азоту в досліджуваному матеріалі по відношенню до його абсолютно сухої маси. Надлишок кислоти відтитровують за йодометричним методом. До перегнаної рідини доливають 15 мл 20 % розчину калій йодиду і 25 мл 4 % розчину калій йодату. Залишок кислоти після нейтралізації амоніаком визначають за реакцією:



Відсоток вмісту азоту в волокні (W_N , %) визначається за формулою:

$$W_N = \frac{m_{2N} \cdot 100}{m_{наб} (100 - W_{(H_2O)})} \cdot 100 \quad (1)$$

де $m_{наб}$ – маса наважки текстильного матеріалу, г;



Рис. 2. Зразок пальтової тканини (арт. 3220) оброблений апретом при дії способу віброформування з використанням асинхронних коливань



Рис. 3. Зразок пальтової тканини (арт. 3220) оброблений при поглинанні апрету в нормальних умовах

$W_{(H_2O)}$ – вологовміст матеріалу, %;

m_{2N} – кількість азоту, який відповідає об'єму 0,5 н H_2SO_4 , що була використана на нейтралізацію амоніаку, г:

$$m_{2N} = \Delta V_{к-ми} \times m_{1N}$$

де $\Delta V_{к-ми}$ – об'єм 0,5 н розчину кислоти, який був використаний на нейтралізацію амоніаку:

$$\Delta V_{к-ми} = V_{контр} - V_{осн}$$

$V_{осн}$ – об'єм 0,5 н розчину натрій гіпосульфіту, який був використаний на титрування основного досліді;

$V_{контр}$ – об'єм 0,5 н розчину натрій гіпосульфіту, який був використаний на титрування контрольного досліді;

m_{1N} – маса азоту, якому відповідає 1 мл 0,5 н розчину H_2SO_4 , г:

$$m_{1N} = \frac{m_e \cdot C_H}{1000},$$

де C_H – 0,5 г/моль (нормальна концентрація кислоти);

m_e – молярна маса еквіваленту азоту (14 г/моль).

За формулами (1 – 4) визначено вміст азоту в вихідному текстильному матеріалі, обробленому апретом за нормальних умов та при одночасній дії вібраційних навантажень та тиску робочого середовища. Результати представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати визначення азоту в текстильному матеріалі

Назва матеріалу (арт. 32)	Вміст віскози матеріалі,	Вміст азоту в матеріалі, обробленому за нормальних умов W_N ,	Вміст азоту в матеріалі, обробленому при дії вібраційних навантажень та тиску робочого середовища, %
Пальтова (арт. 32)	38	11,2	7,1

З таблиці 1 видно, що кількість азоту в матеріалі при дії вібраційних навантажень зменшується, що вказує на більш інтенсивне проходження реакції утворення поперечних зв'язків у результаті обробки. Тобто утворюється більша кількість зв'язків, в яких азот зв'язується зі структурними одиницями віскози. Результати визначення кількості поперечних зв'язків представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна кількості поперечних зв'язків у матеріалі залежно від умов обробки композицією

Назва матеріалу, арт. 32	Вміст віскози матеріалі,	Кількість поперечних зв'язків у матеріалі, обробленому за нормальних умов	Кількість поперечних зв'язків у матеріалі, обробленому при дії вібраційних навантажень та тиску робочого середовища
Пальтова (арт. 32)	38	10,2	18,0

Висновок

Аналізуючи дані таблиці 2 видно зростання кількості поперечних зв'язків від вмісту віскози в текстильному матеріалі в середньому на 51 % в порівнянні з необробленим матеріалом, оскільки саме віскоза утворює сітчасту структуру із вказаним полімером, що попередньо було підтверджено ІЧ-спектрами. Також при дії вібраційних навантажень та тиску робочого середовища кількість поперечних зв'язків збільшується, через те, що в структуру матеріалу проникає більша кількість РАРС. Отже Засобами ІЧ-спектроскопії вивчено механізм взаємодії зв'язуючих речовин апрету з текстильним матеріалом та характер розподілу апрету в структурі тканини. Використовуючи метод К'ельдаля визначено вміст азоту в волокнах тканин оброблених апретом при нормальних умовах і при віброформуванні (11,2% – 7,1 %). На основі цих даних розрахована кількість поперечних зв'язків, в яких азот зв'язується зі структурою віскози. За рахунок вібраційних навантажень кількість таких зв'язків зростає в 2 -2,5 рази, що гарантує стабільність утвореної форми, тому забезпечується більш стійка та якісна форма заготовок при формуванні в полі динамічних навантажень.

Література

1. Назарова В. В. Інтенсифікація процесу гідрофобізації текстильних матеріалів кремнійорганічними олігомерами / В. В. Назарова, Г. В. Міщенко, О. В. Погоріла // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 2. – С. 112 – 115.
2. Измайлов Б. А. Совмещенный способ гидрофобной и антимикробной отделки текстильных материалов / Б. А. Измайлов, Н. С. Журавлева, В. А. Скрипникова // Текстильная пром-сть. – 2005. – № 7 – 8. – С. 70 – 72.
3. Попович Т. А. Оцінка колоїдно-хімічних властивостей полімерних емульсій та плівок акрилового і стирол-акрилового ряду вітчизняного виробництва / Т. А. Попович, Г. В. Міщенко // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – 2005. – № 1(10). – С. 194 – 196.
4. Попович Т. А. Вивчення властивостей плівок з акрилових та стирол-акрилових полімерних емульсій вітчизняного виробництва / Т. А. Попович, О. В. Погоріла // Вісник Київського національного університету технологій і дизайну. – 2006. – № 2(28). – С. 87 – 91.
5. Марек О. Акриловые полимеры : монография / О. Марек, К. Томка. – М. : Химия, 1966. – 311 с.
6. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / Касаткин А.Г. – М. : Химия, 1973. – 593 с.
7. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / [под ред. Ю. Г. Фролова и А. С. Гродского]. – М. : Химия, 1986. – 216 с.
8. Мельников В.Н. Физико-химические основы процессов отделочного производства : [учебн. пособие для вузов] / Мельников В.Н., Захарова Т.Д., Кирилкова М.Н. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 280 с.
9. Каталог продукции акриловых и стирол-акриловых дисперсий марки "LACRITEX" ООО "Полимер-Лак" (Херсон). – Херсон, 2008. – 8 с.
10. Кузьмичев В.Е. Новый критерий в оценке формоустойчивости швейных изделий / В.Е. Кузьмичев, В.В. Веселов // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1982. – № 2. – С. 104-107.

Рецензія/Peer review : 26.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 677.027.262.21

Т.С. АСАУЛЮК, Ю.Г. САРИБЕКОВА, О.Я. СЕМЕШКО

Херсонський національний технічний університет

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА В ПРОЦЕССЕ БЕЛЕНИЯ

В работе изучалось влияние кратковременной электроразрядной обработки на состояние кутикулы шерстяного волокна. В результате анализа полученных данных комплексного исследования доказана эффективность применения предварительной электроразрядной обработки в качестве способа поверхностной модификации шерсти в процессе беления.

Ключевые слова: шерстяное волокно, модификация, электроразрядная обработка, беление.

T.S. ASAULYUK, J.G. SARIBEKOVA, O.J. SEMESKO

Kherson National Technical University, Ukraine

THE INFLUENCE OF ELECTRICAL DISCHARGE PRETREATMENT ON THE SURFACE OF WOOL FIBER DURING BLEACHING

Abstract – The influence of short-term electrical discharge treatment on the surface structure of wool fiber is studied in the article.

A comprehensive study of the impact of the method of modifying on the degree of damage to the cuticle wool fiber has shown that electrical discharge treatment does not lead to a profound destruction of the surface of the wool. Furthermore, the impact of electrical discharge nonlinear bulk cavitation on wool helps to seal the scales of fiber that reduces the felting propensity of modified wool.

Thus, efficacy of electrical discharge pretreatment as a method for surface modification of wool during bleaching is proven.

Keywords: wool fiber, modification, electrical discharge treatment, bleaching.

Постановка проблеми

Основной проблемой в классической технологии беления шерсти является нежелательное повреждение волокна и повышение свойлачиваемости, что приводит к ухудшению качественных характеристик отбеленного материала. Перспективным способом повышения функциональности и конкурентоспособности отбеленной шерсти является модификация волокна, позволяющая изменить его физические, химические и механические свойства. В связи с этим актуальным является поиск метода модификации шерсти в процессе беления, позволяющего придать необходимые свойства

волокнуобразующему полимеру при сохранении или повышении его прочностных характеристик.

Анализ последних исследований и публикаций

В настоящее время особое внимание уделяется разработке экологически безопасных способов модификации шерсти, позволяющих свести к минимуму потери механической прочности волокна. Анализ научно-технической литературы показывает, что к наиболее перспективным направлениям можно отнести применение физических и физико-химических методов модификации [1-3]. В качестве одного из таких известно использование электроразрядной нелинейной объемной кавитации (ЭРНОК), действующие факторы которой затрагивают в основном поверхностный слой субстрата [4].

В современных условиях экономически целесообразным является разработка совмещенных способов модификации поверхности шерстяного волокна с основными технологическими процессами отделки шерстяных текстильных материалов. Установлено, что ЭРНОК оказывает модифицирующее действие на шерсть в процессе ее очистки от природных загрязнений [5]. В связи с этим представляет интерес изучение эффективности применения предварительной электроразрядной обработки в качестве способа поверхностной модификации шерстяного волокна для повышения его прочности и снижения свойлачивания в процессе последующего перексидного беления.

Формулировка целей исследования

Таким образом, целью настоящего исследования было изучение влияния ЭРНОК на структуру поверхности шерсти в процессе беления.

Изложение основного материала

Состояние кутикулы волокна в значительной мере определяет ряд важнейших технологических и потребительских свойств шерсти, таких как способность к свойлачиванию, смачиваемость водой и технологическими растворами, скорость диффузии красителей и др.

Эпикутикула представляет собой защитный слой, покрывающий клетки кутикулы, и может быть определена как мембрана, которая поднимается в виде пузырьков или мешочков вдоль шерстяного волокна, погруженного в хлорную воду. Это явление называется реакцией Аллвердена. Поскольку характерные для данной реакции пузырьки образуются только на внешней поверхности клеток кутикулы и не образуются на клетках кортекса, этот эксперимент может быть использован для изучения степени повреждения эпикутикулы.

Электроразрядную обработку образцов полутонкого шерстяного волокна в виде ровницы осуществляли в воде в течение 180 с. Для сравнения полученных результатов с эффектом химического способа модификации использовали аналогичные показатели шерстяного волокна после хлорирования. Микроснимки образцов шерсти после обработки хлорной водой представлены на рисунке 1.

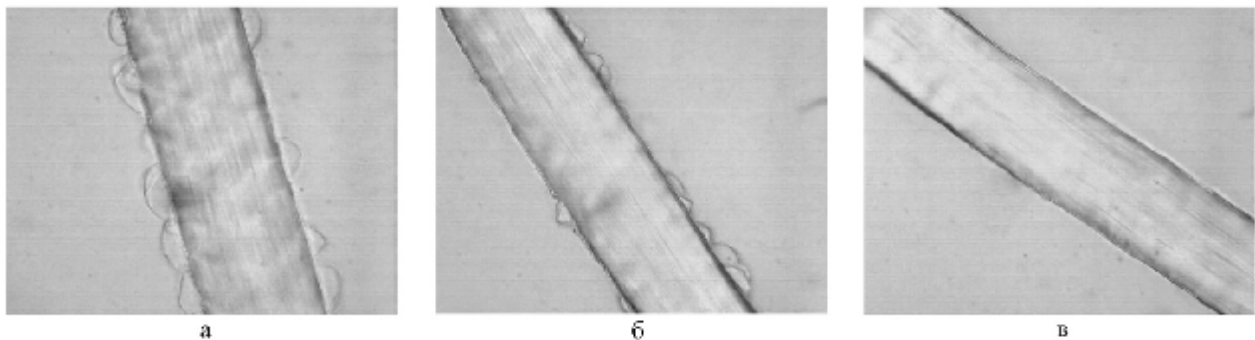


Рис. 1. Влияние способа модификации на повреждение эпикутикулы шерстяного волокна:
а) без модификации; б) электроразрядная обработка; в) хлорирование.

При обработке шерстяного волокна хлорной водой под устойчивой мембраной эпикутикулы происходит растворение белков нижележащего А-слоя экзокутикулы. Реакции включают окисление дисульфидных связей цистина и расщепление пептидных связей в тирозиновых остатках. В результате того, что образующиеся растворимые в воде пептидные фрагменты не способны диффундировать через полупроницаемую мембрану эпикутикулы, поглощается большое количество воды. Рост осмотического давления приводит к растяжению мембраны эпикутикулы наружу.

Исходное шерстяное волокно характеризуется целостностью кутикулярного слоя, поэтому дает положительную реакцию Аллвердена, выраженную в образовании регулярных и почти непрерывных вздутий (рис. 1а). Рисунок 1б показывает образование характерных для данной реакции пузырьков на шерстяном волокне после электроразрядной обработки, что свидетельствует о сохранности значительной части эпикутикулы после воздействия ЭРНОК. На рисунке 1в реакция Аллвердена не наблюдается, что наглядно подтверждает удаление основной массы чешуек шерстяного волокна при хлорировании.

Исследование влияния способа модификации на степень повреждения шерстяного волокна осуществлялось также колористическими методами. Известно, что крашение шерсти диазолом алым К является косвенной оценкой степени повреждения чешуйчатого слоя волокна, а окрашивание основным метиленовым голубым – характеристикой степени повреждения коркового слоя волокна. Интенсивность

окраски специфическими красителями выражена в пересчете на функцию Гуревича-Кубелки-Мунка (K/S). Результаты зависимости интенсивности окраски шерсти от способа модификации волокна представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние способа модификации на интенсивность окраски шерстяного волокна специфическими красителями

Способ модификации	Значения функции K/S	
	Диазоль алым К	Метиленовый голубой
Исходный образец	5,29	24,01
Электроразрядная обработка	2,205	6,609
Хлорирование	12,91	249

Результаты крашения диазолом алым К показывают, что после электроразрядной обработки интенсивности окраски значительно снижается по сравнению с исходным образцом, в отличие от интенсивности окраски волокна после хлорирования. Известно, что азокраситель образуется при взаимодействии диазосоединения с тирозином. Согласно литературным данным [7], наибольшее количество тирозина содержится в межклеточном веществе, отделяющем кутикулу от кортекса и окружающем, в свою очередь, каждую клетку кортекса. Таким образом, можно сделать вывод, что уменьшение интенсивности окраски после электроразрядной обработки обусловлено более плотным прилеганием чешуек к поверхности волокна, что препятствует протеканию реакции азокрасителя с тирозином клеточно-мембранного комплекса.

Данные о крашении метиленовым голубым свидетельствуют о сохранности коркового слоя волокна при модификации путем электроразрядной обработки. Снижение интенсивности окраски по сравнению с исходным образцом можно объяснить тем, что уплотненный под действием ЭРНОК чешуйчатый слой препятствует прониканию реактива к кортексу.

Установленный факт сохранности кутикулы и кортекса шерстяного волокна с помощью ЭРНОК позволяет утверждать, что электроразрядная обработка применима в качестве предварительной модификации в процессе беления шерсти.

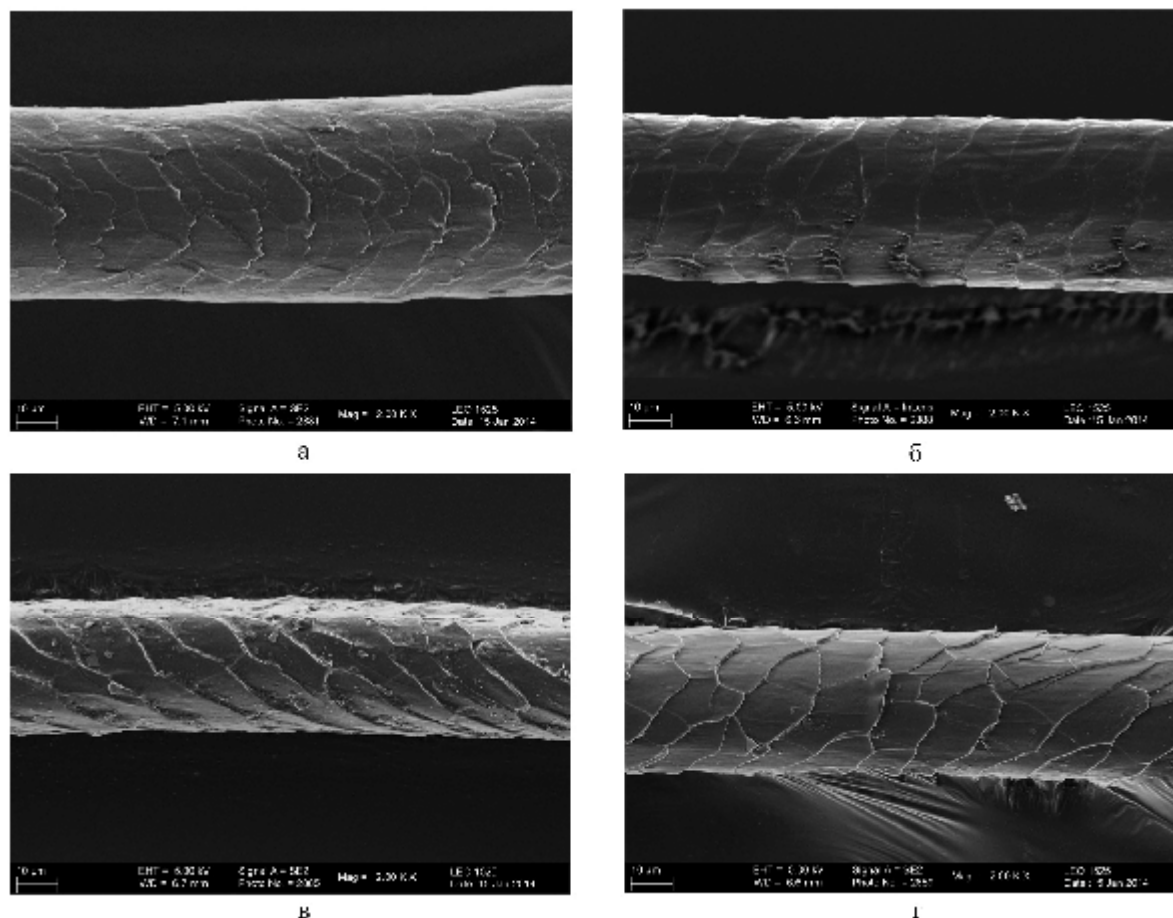


Рис. 2. Влияние электроразрядной обработки на морфологию поверхности шерстяного волокна: а) неотбеленное необработанное; б) неотбеленное модифицированное; в) отбеленное необработанное; г) отбеленное модифицированное.

В связи с этим на следующем этапе работы представляло интерес изучить влияние предварительной электроразрядной обработки на изменение морфологии поверхности шерстяного волокна в процессе беления. Образцы шерсти отбеливались по классической технологии в щелочной среде при температуре 45°C. Структура поверхности волокон была исследована на сканирующем электронном микроскопе LEO 1525 Gemini SEM (Рис. 2).

Рисунок 2б показывает, что после электроразрядной обработки шерстяное волокно имеет более гладкую поверхность по сравнению с необработанным образцом, изображенным на рисунке 2а. Необработанное волокно после беления имеет значительное повреждение поверхности, выраженное в частичном разрушении чешуек, показанном на рисунке 2в. Поверхностная структура отбеленного шерстяного волокна после предварительной электроразрядной обработки осталась без значительных изменений, что подтверждает рисунок 2г.

Далее в работе было исследовано влияние предварительной модификации с помощью ЭРНОК на степень свойлачивания шерстяного волокна. Сваливающую способность определяли путем встряхивания образцов шерсти в водной среде. По плотности образовавшихся шерстяных шариков судили о валкоспособности шерсти. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние электроразрядной обработки на степень свойлачивания шерсти

Плотность шерстяных шариков, г/см ³	Необработанная	Модифицированная
Неотбеленная	0,109	0,088
Отбеленная	0,123	0,100

Плотность шерстяных шариков для отбеленной шерсти обоих образцов несколько выше, чем неотбеленной, поскольку в процессе щелочного беления края чешуек становятся более острыми, что позволяет волокнам более плотно сцепляться друг с другом в процессе свойлачивания. После электроразрядной обработки плотность образованных шариков неотбеленной и отбеленной шерсти меньше, чем у соответствующих образцов необработанного волокна, что свидетельствует о снижении степени свойлачивания модифицированной шерсти. Также следует отметить, что валкоспособность отбеленного модифицированного волокна ниже, чем исходного необработанного образца.

Выводы

1. Комплексное исследование влияния способа модификации на степень повреждения кутикулы и кортекса шерстяного волокна показало, что электроразрядная обработка не приводит к глубокому разрушению поверхности шерсти, а затрагивает лишь эпикутикулу.

2. Кратковременное воздействие ЭРНОК на шерсть способствует более плотному прилеганию выступающих краев чешуек к поверхности волокна, что приводит к снижению свойлачивания модифицированной шерсти в процессе последующего беления, тем самым улучшая ее потребительские характеристики.

Литература

1. Разработка научных основ и промышленного освоения новых технологий, направленных на повышение конкурентоспособности продукции шерстяной и смешанных отраслей текстильной и легкой промышленности // Сборник научных трудов / [под ред. Разумеева К.Э.]. – М.: Оргсервис, 2006. – 236 с.
2. Сарибекова Ю.Г. Анализ современных физико-химических способов модификации шерстяного волокна и перспективы их использования / Ю.Г. Сарибекова, А.В. Ермолаева, С.А. Мясников // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – №3(155). – С. 144–148.
3. Садова С.Ф. Влияние различных физических воздействий на поверхность шерстяного волокна / С.Ф. Садова, В.Н. Василец // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 1992. – №1(205). – С. 57–60.
4. Сарибекова Ю.Г. Исследование свойств модифицированных шерстяных текстильных материалов / Ю.Г. Сарибекова, О.Я. Семешко, Г.С. Сарибеков // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2012. – №2(20). – С. 102–106.
5. Ермолаева А.В. Интенсификация первичной обработки шерсти на основе метода электроразрядной нелинейной объемной кавитации / А.В. Ермолаева, Ю.Г. Сарибекова // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2006. – №3(26). – С. 50–53.
6. Лабораторный практикум по химической технологии текстильных материалов / [под ред. Г.Е. Кричевского]. – М.: Наука, 1994. – 400 с.
7. Новорадовская Т.С. Химия и химическая технология шерсти / Т.С. Новорадовская, С.Ф. Садова. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 200 с.

ОЦІНКА РОЛІ РОСЛИННИХ БАРВНИКІВ У ФОРМУВАННІ АСОРТИМЕНТУ ТА ЯКОСТІ ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНОГО ТЕКСТИЛЮ

Як свідчить аналіз літературних джерел [1-5], в останні роки в багатьох економічно розвинутих країнах чітко намітилась тенденція відродження вже забутих давніх традицій фарбування текстильних матеріалів і виробів різного волокнистого складу та цільового призначення рослинними барвниками. Особливо перспективним і виправданим виявилось використання рослинних барвників замість токсичних марок синтетичних барвників для фарбування екологічно безпечних видів текстилю одягового призначення, який нині користується великою популярністю на закордонних ринках. Виправданим виявилось застосування для фарбування одягових й інтер'єрних текстильних матеріалів тих видів рослинних барвників, які дозволять отримати на цих матеріалах одночасно високоякісні забарвлення у поєднанні з бажаним антимікробним ефектом.

Ключові слова: рослинні барвники, текстильні матеріали, стійкість фарбування, антимікробний ефект, екологічна безпечність

O.M. HUSCHAK, B.D SEMAK
Lviv Academy of Commerce

ASSESSMENT ROLE IN THE FORMATION OF PLANT DYES RANGE AND QUALITY ECOLOGICALLY TEXTILE

Abstract – an analysis of the literature [1-5] in recent years in many developed countries there is a tendency clear revival of ancient traditions are forgotten dyeing of textile materials and products of different fiber composition and purpose vegetable dyes. Particularly promising and justified the use of vegetable dyes turned toxic marks instead of synthetic dyes for coloring ecologically kinds of textile apparel destination, now very popular in overseas markets. Appeared justified in the application for dyeing apparel and interior textiles kinds of vegetable dyes that will receive these materials for both high-quality color combined with the desired antimicrobial effect.

Keywords: vegetable dyes, textiles, paint resistance, antimicrobial effect, Environmental Safety

Постановка проблеми

Як відомо, вступ України до СОТ, необхідність реалізації Угоди про асоціацію з ЄС, є нагальна потреба в підготовці нашої країни до вступу в ЄС. І серед безвідкладного вирішення інших завдань є вимога не тільки суттєвого підвищення експертного потенціалу підприємств вітчизняної текстильної і легкої промисловості, але й перед усім корінного підвищення якості та конкурентоспроможності продукції підприємств цих галузей.

Це в свою чергу вимагає: розширення сировинної бази і поповнення її новими видами екологічно безпечної високоякісної сировини, використання більш ефективних технологій переробки цієї сировини та оптимізації структури асортименту, який за рівнем якості, екологічної безпечності та конкурентоспроможності відповідає вимогам сучасних міжнародних стандартів і ринків.

Розглянемо більш детально один із аспектів цієї багатогранної проблеми – пошук шляхів більш повного і ефективного використання ресурсів наявних в Україні рослинних барвників текстильного призначення. Необхідність і безвідкладність вирішення цього завдання диктується низкою причин.. Назвемо основні з них:

1. Як показав проведений нами аналіз літературних джерел [1-3] і результатів власних досліджень [6,7], наявні запаси рослинних барвників текстильного призначення в нашій країні використовуються дуже обмежено (практично тільки в художніх промислах та майстернях художників-прикладників). Це в той час, коли у багатьох економічно розвинутих країнах світу вже налагоджено промислове використання цих барвників у різних підгалузях текстильної промисловості [2,3]. Більше того, елітні види цих барвників вирощуються в промислових масштабах в спеціалізованих державних і фермерських підприємствах, незважаючи на обмеженість земельних ресурсів в окремих країнах Західної Європи та Америки [2]. Окрім цього, рослинні барвники можна отримувати із невикористаних відходів інших галузей промисловості (харчової, фармацевтичної, деревообробної та інших). Однак, основним і перспективним резервом заготівлі рослинних барвників текстильного призначення в нашій країні вважається дикоросла зона українських Карпат. Саме в цій зоні можна заготовляти десятки різних видів рослинних барвників [1].

2. Як свідчить аналіз літературних даних [1,2], існуюча технологія фарбування рослинними барвниками текстильних матеріалів різного волокнистого складу та призначення має ряд особливостей, а саме:

- фарбування рослинними барвниками текстильних одягових та інтер'єрних матеріалів в промислових масштабах апробовано тільки в малотоннажному текстильному виробництві та художніх промислах;

- для розширення та збагачення колірної гами пофарбувань на текстильних матеріалах при фарбуванні рослинними барвниками слід використовувати різні види протравлювачів (найчастіше це $KAl(SO)_4$, $K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4$, $FeSO_4$) та способи протравлювання (перед фарбуванням текстильного матеріалу, одночасно з його фарбуванням і наступне після фарбування);

- встановлено, що найбільш насичені та світлостійкі забарвлення при фарбуванні більшістю

досліджених видів рослинних барвників застосовують на вовняних і шовкових текстильних матеріалах; менш виправданим виявилось використання рослинних барвників для фарбування целюлозних і поліамідних субстратів;

- враховуючи обмеженість асортименту досліджених видів рослинних барвників (особливо для фарбування целюлозних і поліамідних субстратів) доцільно продовжити пошук нових видів рослинних барвників для фарбування названих матеріалів), а також поліфункціональних видів рослинних барвників, здатних надавати текстильним матеріалам одночасно декілька корисних аспектів (високоякісні пофарбування у поєднанні з високою екологічністю безпечністю, необхідною біостійкістю та іншими властивостями).

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Необхідність широкого використання рослинних барвників в практиці вітчизняного текстильного виробництва обумовлена низкою наступних причин, а саме:

- потребою використання екологобезпечної текстильної сировини, яка поки ще практично не використовується в Україні;

- потребою екологізувати технологію текстильного виробництва і отримання екологічно-безпечних текстильних матеріалів та виробів шляхом часткової заміни рослинними барвниками токсичних марок синтетичних барвників, як це прийнято в багатьох зарубіжних країнах;

- необхідністю підвищення конкурентоспроможності текстильних матеріалів шляхом екологізації їх властивостей за рахунок використання рослинних барвників (особливо поліфункціональних) для їх фарбування замість токсичних марок синтетичних барвників у малотоннажному текстильному виробництві.

Зупинимось на більш детальному аналізі останніх досліджень і публікацій, присвячених висвітленню піднятих питань [5,6,8,9]

Авторами роботи [5] досліджено вплив виду рослинного барвника і виду протравлювача на формування колірної гами пофарбувань на вовняному субстраті, пофарбованому екстрактами кошенілі, марени, сафлору, сандалу і бразильського дерева. Для протравлювання названого матеріалу були використані такі протравлювачі: CuSO_4 , FeSO_4 , FeCl_3 , ZnCl_2 .

В роботі [6] узагальнені дані присвячені:

- пошуку нових рослин-барвників, і характеристики їх фарбувальної здатності;

- розробленню технології фарбування рослинними барвниками текстильних матеріалів різного волокнистого складу та призначення;

- вивчено вплив виду рослинного барвника та виду протравлювача на екологізацію технології фарбування та асортименту досліджуваних текстильних матеріалів;

- обґрунтовані сфери найбільш ефективного використання рослинних барвників.

В роботі [8] авторами обґрунтовано можливість застосування для фарбування і одночасної антимікробної обробки текстильних целюлозних матеріалів санітарно-медичного призначення екстрактів ялівцю звичайного та шавлії мускатної. Досліджено хімічний склад названих препаратів і встановлено, що їх антимікробні властивості обумовлені наявністю в цих препаратах терпенів та їх похідних.

В роботі [9] авторами вивчено фарбувальну здатність рослинних барвників, отриманих із трави звіробою, лушпиння цибулі, кори дуба та кори жостеру та обґрунтована доцільність використання цих барвників для фарбування вовняних і бавовняних тканин. Вивчена залежність якості отриманих цими барвниками пофарбувань від модуля ванни, температури та тривалості пофарбування, а також від виду протравлювачів та способів протравлювання.

В роботі також описано переваги рослинних барвників над синтетичними (особливо токсичних марок) і обґрунтована доцільність більш широкого використання рослинних барвників у вітчизняному текстильному виробництві.

Резюмуючи наведену інформацію про останні дослідження і публікації з формування асортименту і властивостей рослинних барвників і пофарбованих ними текстильних матеріалів, слід відзначити:

- наведена інформація поки носить фрагментальний характер і підтверджує необхідність проведення системних комплексних технологічних, матеріалознавчих і товарознавчих досліджень даної проблеми;

- більш глибоких товарознавчих досліджень вимагають оцінка ролі рослинних барвників у формуванні зносостійкості, гігієнічності, екологічної безпечності та конкурентоспроможності текстильних матеріалів і виробів одягового та інтер'єрного призначення, пофарбованих найбільш перспективними видами рослинних барвників;

- пошуку нових видів рослинних барвників, які гарантують одночасне досягнення на текстильному матеріалі декількох корисних ефектів – високоякісного пофарбування у поєднанні з підвищенням гігієнічності, екологічної безпечності, біостійкості і в цілому гарантування бажаних термінів експлуатації.

Мета роботи – розкриття ролі рослинних барвників у формуванні асортименту, рівня якості та екологічної безпечності одягових текстильних матеріалів.

Викладення основного матеріалу і його авторська трактовка

В даній роботі ми обмежились розглядом блоків питань:

- вивчили вплив виду рослинного барвника, виду протравлювача і волокнистого складу деяких

видів одягових (в основному платтяно-блузкового призначення) тканин на формування колірної гами їх пофарбувань;

- вивчили вплив протравлювання пофарбованих деякими видами рослинних барвників вовняних одягових тканин на розширення та збагачення колірної гами їх пофарбувань;
- вивчили вплив виду рослинного барвника і виду протравлювача на світлостійкість пофарбувань і субстрату на прикладі вовняних тканин (після 300 год їх сонячного опромінення)

Отримані результати досліджень наведені в таблицях 1-3. Зупинимось на їх більш детальному аналізі, акцентуючи активну увагу на обґрунтуванні доцільності використання в практиці вітчизняного текстильного виробництва (особливо в малотоннажному секторі) рослинних барвників замість токсичних марок синтетичних з метою екологізації асортименту і властивостей досліджуваних тканин.

Таблиця 1

Характеристика об'єктів дослідження

№ з/п	Назва рослинного барвника	Волокнистий склад тканини	Характеристика колірної гами пофарбувань	
			Колір і відтінок	Код за атласом
1	2	3	4	5
1	Трава багна звичайного	вовняна	Рожево-коричневий	0606045*
2		шовкова	-	-
3		капронова	-	-
4	Листки винограду амурського	вовняна	Коричневий червоним відтінком	060803
5		шовкова	-	-
6		капронова	-	-
7	Трава гірчака перцевого	вовняна	Коричнево-жовтий	050604
8		шовкова	Коричнево-жовтий	050504
9		капронова	Коричнево-лимонний	030304
10	Сухі ягоди глоду	вовняна	Коричнево-оранжевий	050605
11		шовкова	Коричнево-оранжевий	050504
12		капронова	Світло-бежевий	050203
13	Трава деревій	вовняна	Світло-коричневий з зеленим відтінком	030704
14		шовкова	-	-
15		капронова	-	-
16	Трава кермеку Гмеліна	вовняна	Коричневий з оранжевим відтінком	070804
17		шовкова	Коричневий з жовтим відтінком	070704
18		капронова	Бежевий	060403
19	Трава материнки	вовняна	світло-бежевий	040504
20		шовкова	Світло-бежевий	040404
21		капронова	Світло-бежевий з жовтим відтінком	030604
22	Корінь ревеню	вовняна	Темний золотистий	020408
23		шовкова	Темний золотисто-зеленуватий	020507
24		капронова	Лимонно-жовтий	010207
25	Трава родовик	вовняна	Світло-коричневий з червоним відтінком	040704
26		шовкова	-	-
27		капронова	-	-
28	Тютюн справжній (відходи виробництва)	вовняна	Бежевий	040305
29		шовкова	-	-
30		капронова	-	-
31	Кора черемхи	вовняна	Темно-оранжевий	080705
32		шовкова	Темно-оранжевий	080704
33		капронова	Оранжево-сіруватий	080503
34	Сухі листки черемхи	вовняна	Жовто-оливковий	040506
35		шовкова	Світло-бежевий	040404
36		капронова	Лимонний	020304

* Примітка. У позначені кольорів і відтінків пофарбувань тканин шестизначним кодом перші два знаки відповідають колірному тону (номеру карти атласу), наступні два – номеру відтінку за насиченістю, а останні два – ступень світлості.

Об'єктом досліджень при вирішенні піднятих питань служили різні за волокнистим складом одягові тканини, а саме:

- камвольна чистововняна платтяна тканина арт 1144;

- чистошовкова платтяно-блузкова тканина арт 11023;
- капронова платтяно-блузкова тканина арт 52013.

Фарбування вовняних тканин обраними видами рослинних барвників проведена в лабораторних умовах кафедри художнього текстилю Львівської національної академії мистецтва за прийнятими оптимальними технологічними режимами [1].

Колірні характеристики пофарбованих тканин до і після їх сонячного опромінювання визначались загально прийнятим експертним методом при візуальній оцінці з використанням атласу кольорів й інструментальним методом з використанням спектрометра «Пульсар» та розрахункових формул системи CIEL a^*b^* [1,2].

Для оцінки якості колірної гами пофарбованих була сформована група експертів (в кількості 12 осіб) із викладачів кафедри художнього текстилю Львівської комерційної академії мистецтва і кафедри товарознавства непродовольчих товарів Львівської комерційної академії, які добре ознайомлені з теорією і практикою колористичного оформлення текстильних матеріалів і методами експертизи якості пофарбованих цих матеріалів [1,2].

Для фарбування досліджуваних тканин, як видно із даних таблиці 1, було обрано екстракти із 12 видів поширених в Україні і малодосліджених в практиці вітчизняного текстильного виробництва видів рослинних барвників. Як показали наші дослідження, названі види рослинних барвників придатні забезпечувати на досліджуваних нами тканинах широку гаму кольорів і відтінків пофарбованих (табл. 1)

Суттєвий вплив на формування колірної гами пофарбованих рослинними барвниками на текстильних одягових матеріалах, як свідчить аналіз літературних джерел [1-3] і результати наших досліджень, може мати протравлювання цих матеріалів різними видами протравлювачів, оскільки переважна більшість досліджених видів рослинних барвників текстильного призначення відноситься до класу кислотного-протравних.

З метою вивчення впливу виду протравлювачів на розширення і збагачення колірної гами пофарбованих екстрактами рослинних барвників нами було проведено одночасне з фарбуванням протравлення досліджуваних тканин 5-ма видами протравлювачів – різної хімічної будови і екологічної безпеки [6]. Отримані результати наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Вплив виду рослинного барвника і виду протравлювача на формування колірної гами пофарбованих вовняної одягової тканини

№ з/п	Назва рослинного барвника	Вид протравлювача	Вплив виду протравлювача на колірну гаму кольорів	
			Колір і відтінок	Код за атласом
1	2	3	4	5
1	Трава багна звичайного	Фарбування без протравлювання	Рожево-коричневий	060604
2		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	темно-золотистий	030507
3		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	темно-коричневий з жовтим відтінком	040705
4		Те ж, $CuSO_4$	темно-коричневий з червоним відтінком	071002
5		Те ж, $FeSO_4$	темний зелено-коричневий	041001
6		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	темний хакі	040902
7	Листки винограду амурського	Фарбування без протравлювання	Коричневий з червоним відтінком	060803
8		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	коричневий з зеленим відтінком	0300804
9		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	жовтувато-зелений	030705
10		Те ж, $CuSO_4$	коричневий з жовтим відтінком	050903
11		Те ж, $FeSO_4$	темний зелено-коричневий	041001
12		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	-	-
13	Трава гірчака перцевого	Фарбування без протравлювання	Коричнево-жовтий	050604
14	Трава гірчака перцевого	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	Лимонно-жовтий	030407

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
15		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	Жовто-оливковий	030705
16		Те ж, $CuSO_4$	Жовто-коричневий	040704
17		Те ж, $FeSO_4$	Темно-оливковий	020902
18		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	Темно-оливковий	021002
19	Сухі ягоди глоду	Фарбування без протравлювання	Коричнево-оранжевий	050605
20		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	Коричнево-оранжевий	050605
21		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	Коричнево-зеленуватий	040605
22		Те ж, $CuSO_4$	Темно оранжевий	050606
23		Те ж, $FeSO_4$	Оливково-сірий	050703
24		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	Оливково-сірий	040803
25		Трава деревію	Фарбування без протравлювання	Світло-коричневий з зеленим відтінком
26	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$		лимонний з зеленим відтінком	020405
27	Те ж, $K_2Cr_2O_7$		зеленувато-коричневий	030605
28	Те ж, $CuSO_4$		тютюновий	020705
29	Те ж, $FeSO_4$		темний хакі	010902
30	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$		темний зелено-коричневий	010902
31	Трава кермеку Гмеліна		Фарбування без протравлювання	Коричневий з оранжевим відтінком
32		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	Жовто-коричневий	040506
33		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	Жовто-зелений	030606
34		Те ж, $CuSO_4$	Коричнево-жовтий	040804
35		Те ж, $FeSO_4$	Темний коричнево-червоний	120902
36		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	Коричнево-сірий	070802
37	Трава материнки	Фарбування без протравлювання	Коричнево-оранжевий	050704
38		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	Жовто-оранжевий	040506
39		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	Темний золотисто-зеленуватий	030507
40		Те ж, $CuSO_4$	Коричневий з лимонним відтінком	031002
41		Те ж, $FeSO_4$	Темний зелено-сірий	460902
42		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	-	-
43	Корінь ревеню	Фарбування без протравлювання	Темний золотистий	020408
44		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	Золотисто-жовтий	020308
45		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	Темний жовто-оранжевий	040506
46		Те ж, $CuSO_4$	Старого золота із зеленим відтінком	030606
47		Те ж, $FeSO_4$	Зелений з жовтим відтінком	020605
48		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	Зелений з жовтим відтінком	020604
49	Родовик лікарський	Фарбування без протравлювання	Бежевий	030304

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
50		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	Світло-лимонний	010205
51		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	Бежевий	020403
52	Родовик лікарський	Те ж, $CuSO_4$	Оливковий	460703
53		Те ж, $FeSO_4$	Коричнево-зеленуватий	020703
54		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	Сіро-зелений	020403
55	Тютюн справжній (відходи виробництва)	Фарбування без протравлювання	Бежевий	040305
56		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	Бежевий	040305
57		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	Бежевий	030405
58		Те ж, $CuSO_4$	Оливковий	460604
59		Те ж, $FeSO_4$	Бежевий	040404
60		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	-	-
61		Кора черемхи	Фарбування без протравлювання	Темно-оранжевий
62	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$		Оранжевий	060505
63	Те ж, $K_2Cr_2O_7$		Оранжево-коричневий	080804
64	Те ж, $CuSO_4$		Темний червоно-коричневий	111004
65	Те ж, $FeSO_4$		Темний коричнево-жовтий	081002
66	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$		Темний коричнево-сірий	080902
67	Сухі листки черемхи	Фарбування без протравлювання	Жовто-оливковий	040506
68		Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	Лимонний	020207
69		Те ж, $K_2Cr_2O_7$	Жовто-зеленуватий	030605
70		Те ж, $CuSO_4$	Темний золотисто-жовтий	020404
71		Те ж, $FeSO_4$	Темний зелено-жовтий	020903
72		Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	Темно-оливковий	020703

Як видно із даних таблиці 2, в результаті підбору відповідного виду протравлювача при одночасному протравлюванні і фарбуванні досліджуваних вовняних тканин обраними видами рослинних барвників представляється можливість цілеспрямовано не тільки розширювати та збагачувати колірну гаму пофарбувань, але й суттєво змінювати світлостійкість цих пофарбувань (табл. 3)

При цьому з впевненістю можна сказати, що кожний вид обраного ними протравлювача у поєднанні з конкретним видом рослинного барвника веде не тільки до специфічних змін в отриманих кольорах і відтінках пофарбувань, але до специфічних змін в показниках світлості, насиченості та колірного тону цих пофарбувань. Це свідчить про те, що для кожного конкретного виду рослинного барвника перед його застосування для фарбування конкретного виду субстрату слід індивідуально вибирати і конкретний вид протравлювача.

Однак, виявлені і деякі загальні закономірності впливу обраних протравлювачів на зміну колірного гами досліджуваних пофарбувань. Наприклад, при протравлюванні залізним купоросом пофарбованих обраними рослинними барвниками вовняної тканини, спостерігається поява на цій тканині темно-зелених відтінків. Протравлювання названої тканини алюмокалієвим галуном, як правило веде до помітного посвітління отриманих на цій тканині пофарбувань.

Як відомо світлостійкість пофарбувань і субстрату текстильних матеріалів і виробів в текстильному товарознавстві та матеріалознавстві розглядають не тільки як одну із ключових характеристик їх зносостійкості, але й екологічної безпечності [6]. І це цілком зрозуміло, оскільки висока світлостійкість субстрату і пофарбувань цих матеріалів гарантує не тільки термін експлуатації виготовлених з них швейних і трикотажних виробів, але й у деякій мірі ефективно і доцільне використання певних сировинних ресурсів, а також води та енергії.

Аналізуючи в цьому плані результати проведеної нами оцінки впливу виду рослинного барвника і

виду протравлювача на формування світлостійкості пофарбувань і субстрату досліджуваних вовняних тканин (табл. 3) можна зробити наступні висновки:

Таблиця 3

Вплив рослинного барвника, протравлювача та тривалості сонячного опромінення (300 год) на зміну світлостійкості забарвлень та субстрату пофарбованих рослинними барвниками вовняних тканин

№ з/п	Барвник, спосіб обробки тканин	Досліджувані показники	
		Загальний колірний контраст, ΔE	Зниження розрахункового розривного навантаження за основою, %
1	2	3	4
1	Екстракт квіток кінського каштану без протравлювання	3,5	5,9
2	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	5,1	5,3
3	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	5,4	5,3
4	Те ж, $CuSO_4$	3,0	7,2
5	Те ж, $FeSO_4$	2,6	5,3
6	Екстракт трави багна звичайного без протравлювання	1,9	30,7
7	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	9,0	17,6
8	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	5,2	27,7
9	Те ж, $CuSO_4$	2,0	32,2
10	Те ж, $FeSO_4$	2,1	40,7
11	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3,9	55,3
12	Екстракт трави деревію без протравлювання	5,3	41,7
13	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	4,1	29,3
14	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	6,2	10,6
15	Те ж, $CuSO_4$	2,3	40,9
16	Те ж, $FeSO_4$	11,6	34,4
17	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	2,4	38,6
18	Екстракт трави материнки без протравлювання	3,1	13,6
19	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	3,6	13,5
20	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	5,4	5,0
21	Те ж, $CuSO_4$	1,6	3,3
22	Те ж, $FeSO_4$	1,5	26,1
23	Екстракт трави родовика лікарського без протравлювання	4,5	30,4
24	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	9,6	46,4
25	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	6,3	27,6
26	Те ж, $CuSO_4$	1,6	49,2
27	Те ж, $FeSO_4$	6,6	36,1
28	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	5,2	38,0
29	Екстракт листків дикого винограду без протравлювання	7,5	41,9
30	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	7,0	31,7
31	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	5,2	14,3
32	Те ж, $CuSO_4$	1,8	25,2
33	Те ж, $FeSO_4$	3,1	33,1
34	Екстракт відходів тютюну без протравлювання	9,0	72,3
35	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	7,6	55,5
36	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	7,1	49,6
37	Те ж, $CuSO_4$	2,1	42,9
38	Те ж, $FeSO_4$	7,0	64,0

А) встановлено, що серед 7-ми видів обраних нами екстрактів рослинних барвників, отриманих із квіток каштану кінського, трави багна звичайного, трави деревію, трави материнки, трави родовика лікарського, листків дикого винограду і відходів тютюну без протравлювання, найбільшу світлостійкість пофарбувань на вовняних одягових тканинах отримано після їх фарбування екстрактами трави багна звичайного і трави материнки. Найбільш низьку світлостійкість пофарбувань на вовняних одягових тканинах отримано після їх фарбування екстрактами трави багна звичайного і трави материнки.

Б) встановлено, що обрані нами види протравлювачів $KAl(SO_4)_2$, $K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4$, $FeSO_4$, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$ при одночасному фарбуванні і протравлюванні вовняних тканин обраними видами рослинних барвників можуть виступати як фотосенсибілізатори, фотоінгібітори процесу фотодекструкції вовняної тканини, або бути нейтральними до процесу її світлостаріння. При цьому кращими рецептами пофарбувань для вовняної тканини слід вважати:

- одночасне протравлювання $CuSO_4$ і $Fe(NH_4)(SO_4)_2$ та фарбування вовняної тканини екстрактом трави деревію;
- одночасне протравлювання $CuSO_4$ і фарбування вовняної тканини екстрактом родовика лікарського;
- виправданим виявилось одночасне протравлювання $CuSO_4$ вовняної тканини, пофарбованої екстрактом листків дикого винограду.

В) співставлення граничних меж світлостійкості обраних нами рослинних барвників (8 од ΔЕ) і субстрату (60 Н смужки розміром 50 x 25 мм) показало, що фотодекструкція пофарбувань обраними рослинними барвниками на вовняній тканині, як правило відбувається значно швидше, ніж світлостаріння самого субстрату. Тому, для більш раціонального і повного використання ресурсу субстрату вовняних тканин та їх фарбування слід використовувати тільки світлостійкі види рослинних барвників, а також ті види протравлювачів, які інгібують процес світлостаріння окремих видів рослинних барвників.

Виправданим слід вважати фарбування обраними видами рослинних барвників шовкових і капронових тканин, які, як відомо, характеризуються менш світлостійкими субстратами, а тому для цих тканин досягається більш рівномірне і повне використання потенційних ресурсів і рослинного барвника і субстрату [2,6]

Висновки

1. Обґрунтована технологічна можливість та економічна доцільність фарбування у малотоннажному виробництві платтяно-блузкових вовняних, шовкових і капронових тканин літнього асортименту екстрактами квіток каштану кінського, трави багна звичайного, трави деревію, трави материнки, трави родовика лікарського, листків дикого винограду, відходів тютюну, трави гірчака перцевого, кори і листків черемхи, кореню ревеню і трави кермеку Гмеліна.

2. Вивчено вплив виду рослинного барвника, виду протравлювача та виду субстрату на формування світлостійкості та екологічної безпечності досліджуваних тканин. Виявлені та обґрунтовані варіанти тих оптимальних поєднань субстрату, рослинного барвника та протравлювача, при яких досягається оптимальне використання кожним із компонентів своїх потенційних ресурсів.

3. Обґрунтована недоцільність використання для протравлювання досліджуваних тканин тих протравлювачів, які суттєво прискорюють світлостаріння рослинного барвника і обмежують можливість раціонального використання потенційного ресурсу волокнистої основи досліджуваних тканин (особливо вовняних тканин літнього асортименту)

4. Обґрунтована доцільність більш широкого використання досліджуваних нами рослинних барвників для фарбування екотекстилю (особливо дитячого асортименту), оскільки використання названих видів рослинних барвників дозволяє екологізувати не тільки сам процес фарбування, але й властивості цих матеріалів і суттєво розширити сферу їх застосування у малотоннажному текстильному виробництві.

Література

1. Семак З.М. Фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками : навч. посібник / З.М. Семак, Б.Б. Семак. – Львів : Світ, 2005. – 368 с.
2. Семак Б.Б. Наукові засади формування ринку рослинної сировини та його окремих сегментів в Україні : монографія / Б.Б. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2007. – 512 с.
3. Семак Б.Б. Теоретико-методологічні основи формування вітчизняного ринку екологічно безпечних товарів текстильної промисловості : монографія / Б.Б. Семак. – Херсон : Грінь Д.Т., 2011. – 232 с.
4. Дацко О.І. Дослідження біоцидних властивостей тканин, пофарбованих екстрактом лушпиння цибулі ріпчастої / О.І. Дацко, І.С. Галик // Вісник Львівської комерційної академії. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2008. – Вип. 9. – С. 126–134. – (Серія товарознавча)
5. Colour and fastness of naturel dyes: revival of traditional dyeing technigues / Zarkogiani M., Mikropoulou E., Varella E., Tratsaroni E. // Colorat. Technol. – 2011. – 127. - № 1. – P. 18-27
6. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.
7. Гушак Е.Н. Комплексная оценка качества шерстяных тканей, окрашенных экстрактом цветов каштана / Е.Н. Гушак. // Международный журнал «Устойчивое развитие». – Варна : Издательство: Евро-

Експерт ЕООД, 2014. – № февраль 2014. – С. 33-42.

8. Голованов В.А. Применение фитопрепаратов для придания антимикробных свойств текстильным материалам / В.А. Голованов, А.С. Абрамова, О.П. Сумская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 4/6 (52). – С.6-9.

9. Горбачова Л.М. Використання рослинних барвників як спосіб підвищення безпеки споживання текстилю / Л.М. Горбачова, Н.П. Супрун // Сучасні проблеми розвитку легкої промисловості : тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції наукової молоді і студентів (Луганськ, 3-4 листопада 2012 р.). – Луганськ, 2012. – С.185.

Рецензія/Peer review : 9.9.2015 р. Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 677.016.1/6

А.Д. КОБЫЩАН

Вищий навчальний заклад Укоопспілка «Полтавський університет економіки і торгівлі»

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ СМИНАЕМОСТИ ЧИСТОЛЬНЯНЫХ ТКАНЕЙ

Статья посвящена вопросам разработки прогрессивных методов обработки льняных платьевых тканей с целью улучшения их механических и эстетических свойств. В статье рассмотрена технология низкотемпературного умягчения льняных тканей с использованием предложенных авторами новых рецептур смягчителей на основе экологически чистых веществ - эфиров растительного масла. Установлено, что низкотемпературное смягчение льняных тканей препаратом на основе эфиров растительного масла положительно влияет на несминаемость обработанных тканей.

Ключевые слова: несминаемость, режим смягчения, рецептура смягчителей

A.D. KOBYSCHAN

Higher education institution Ukoopspilka "Poltava University of Economics and Trade"

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN SOLVING PROBLEMS CREASE PURE FLAX TISSUES

Abstract: The article is devoted to the development of advanced methods of processing linen dress fabrics in order to improve their mechanical and aesthetic properties. It should be noted that the search for optimal materials for processing linen fabrics with a view to easing can not be regarded as complete. The article describes the technology of low-temperature softening linen cloths with the authors of the proposed new formulations softeners based on environmentally friendly materials - vegetable oil esters. It was found that the low-temperature softening linen fabrics preparations based on vegetable oil esters positive effect on the treated fabrics wrinkle resistance.

Keywords:: wrinkle resistance mode softening, emollient formula

Вступление

В комплексе свойств, формирующих качество и конкурентоспособность льняных тканей, наряду с их прочностью и гигиеничностью, большое значение имеет их сминаемость, которая косвенно влияет на формирование эстетических свойств изделий, изготовленных из этих тканей.

Цикл заключительных отделочных операций, которым подвергают ткани в процессе их производства после отбеливания и колорирования, называется аппретирования - «окончательно украшать». Целью аппретирования является улучшение внешнего вида тканей и предоставление им особых свойств в соответствии с их назначением путем пропитки тканей специальными растворами (аппретами). В результате аппретирования ткани становятся приятными на ощупь, мягкими, эластичными, блестящими или матовыми, водонепроницаемыми или огнестойкими, несминаемыми, долговечными и т. д. Таким образом, окончательные свойства текстильных материалов, в частности эстетические, формируются именно на этапе заключительных отделочных операций, одной из которых является физическая модификация льняных тканей с целью их смягчения.

Одной из главных прикладных характеристик, которая обеспечивает конкурентоспособность тканей и изделий из них, является мягкость, то есть: эластичность, упругость, пластичность, гладкость и удовольствие на ощупь. Итак, физическая модификация текстильных материалов с целью их смягчения является неотъемлемой частью отделочного процесса для получения действительно качественных изделий. Вместе с тем, анализ научных работ показывает, что исследования мягкости текстильных материалов практически не проводятся [1]. В настоящее время не существует эффективной стандартной методики для оценки мягкости модифицированных текстильных материалов, а стандартами не предусмотрено определение показателей, характеризующих это свойство.

Для смягчения тканей, увеличение их упругости применяют аппрет с жировыми (маслами, мылом) и гигроскопичными (глицерином, патокой, поваренной солью) веществами.

В настоящее время ассортимент смягчающих препаратов для текстильной промышленности достаточно широк и не останавливаются научные поиски более современных, эффективных, физиологически и экологически безвредных веществ. Так, получили дальнейшее развитие теоретические

основы получения композиций на основе кремнийорганических соединений с различной реакционной способностью и определена целесообразность их использования в качестве ополаскивателя для высококачественной обработки хлопковых тканей [1]. В последнее время активные разработки ведутся в направлении применения ферментов для смягчения тканей [1, 2]. Энзимосодержащие технологии являются прогрессивным направлением в совершенствовании экологических и экономических текстильных обработок, хотя касаются преимущественно хлопчатобумажных материалов. Интересным является исследование изменения свойств льняных тканей, обработанных плазмой [2], смолами и другими препаратами [3, 4]. Но следует отметить, что поиски оптимальных веществ для обработки льняных тканей с целью их смягчения нельзя считать завершёнными.

Под несминаемостью тканей понимают их способность сопротивляться образованию морщин и складок, которые возникают под действием деформации изгиба. Значение несминаемости заключается в сохранении хорошего внешнего вида материала (или изделия из него) в ходе его эксплуатации. Несминаемость текстильных материалов зависит от природы волокон, их структуры и характера обработки ткани.

Сминаемость чистольняных тканей очень высока. Долгое время в товароведении проводились исследования, направленные на уменьшение сминаемости льняных тканей, результатом которых стало появление в ассортименте смешанных льняных тканей с полиэфирными волокнами, с содержанием последних более 50%. Но повышение несминаемости льнолавансовых тканей привело одновременно к уменьшению их гигиеничности. Таким образом, поиск альтернативных способов обработки льняных тканей остается актуальным [5-8].

Постановка задач

Объектом исследований выбраны следующие базовые образцы льняных тканей:

- вариант 1 – суровая, изготовленная из чистольняной пряжи мокрого прядения линейной плотностью 46,1 текс по основе и утку;
- вариант 2 - пёстротканная, изготовленная из чистольняной вареной и полубелой пряжи по основе и кислованной пряжи по утку, линейной плотностью 46,1 текс по основе и утку;
- вариант 3 - гладкокрашенная, изготовленная из чистольняной полубелой пряжи мокрого прядения линейной плотностью 46,1 текс по основе и утку.

Целесообразным является изучение составных частей деформации, которой подвергаются ткани при смятии. С этой целью с помощью релаксометра была измерена полная деформация и ее составляющие на полосках тканей по основе и по утку в мм, и на основе полученных данных рассчитаны доли каждого вида деформации (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика деформации платьевых льняных тканей

Вариант ткани	Составные части деформации, %							
	по основе				по утку			
	полная, E	эластичная, E ₁	пластичная, E ₂	остаточная, E ₃	полная, E	эластичная, E ₁	пластичная, E ₂	остаточная, E ₃
1	100,0	19,1	12,2	68,7	100,0	13,7	7,8	78,5
2	100,0	20,0	13,7	66,3	100,0	14,9	7,6	75,9
3	100,0	20,4	14,6	65,0	100,0	16,2	9,4	74,4

Наибольшей составляющей полной деформации льняных тканей является остаточная деформация, доля которой составляет 65,0-68,7% по основе и 74,4-78,5% по утку. Для льняных тканей характерна очень низкая доля пластической деформации, которая находится в пределах 12,2-14,8% по основе и 7,6-10,0% по утку.

Мягчение базовых льняных тканей проводилось в лабораторных условиях путём трехкратной пропитки образцов тканей растворами мягчителей на плюсовке при температуре 40 °С и последующей сушки в термостате горячим воздухом при температуре 90 ± 10 °С. Пропитка вариантов льняных тканей для дальнейших исследований проводилась:

- одним мягчителем в различных его концентрациях (на базе эталонного варианта ткани 2);
- различными видами мягчителей одинаковой концентрации (на базе эталонного варианта ткани 3) (табл. 2).

Исследование несминаемости тканей проводилось по стандартной методике [5]. Полученные данные несминаемости базовых тканей приведены в таблице 3.

Таблица 2

Рецептуры для умягчения льняных тканей

Вариант ткани	Вид мягчителя	Содержание основных компонентов, г/л
2	Эталонная	-
2-1	Дисперсия метилового эфира растительного масла с добавлением неанола в количестве	5,0
2-2	То же самое	10,0
2-3	То же самое	20,0
2-4	То же самое	30,0
2-5	То же самое	40,0
3	Эталонная	-
3-1	Дисперсия метилового эфира растительного масла с добавлением неанола в количестве	40,0
3-2	Силиконовый гидрофильный мягчитель Колосил СА	40,0
3-3	Полиэтиленовая эмульсия Колософт П	40,0
3-4	Стеарокс-6	40,0
3-5	Механическое мягчение на AURO-1000	-

Таблица 3

Несминаемость базовых льняных тканей

Шифр ткани	Угол восстановления, град		Несминаемость, %		
	основа	уток	основа	уток	ткани
1	24	29	13	16	14
2	39	36	22	20	21
3	46	36	26	20	23

Результаты. Обсуждение и анализ

Полученные результаты свидетельствуют об очень низкой несминаемости базовых льняных тканей, которая находится в пределах 20 %, что объясняется однородностью тканей по составу (100% лён) и их структурой (полотняное переплетение). Более высокая несминаемость (21 – 23 %) зафиксирована для тканей пёстротканых и гладкокрашенных по сравнению с суровой, которые в ходе отделочных операций подвергались нескольким циклам механических и химических воздействий, в результате которых пластическая часть деформации льняных волокон несколько уменьшилась.

С целью изучения влияния смягчения на несминаемость льняных тканей, данный показатель определялся также для обработанных тканей (табл. 4).

Таблица 4

Несминаемость льняных тканей после их смягчения

Вариант ткани	Угол восстановления, град		Несминаемость, %		
	основа	уток	основа	уток	ткани
2-1	40	47	22	26	24
2-2	45	43	25	24	25
2-3	47	48	26	27	27
2-4	46	48	26	27	27
2-5	43	46	24	26	25
3-1	43	44	24	24	24
3-2	50	45	25	25	25
3-3	57	57	32	32	32
3-4	47	42	26	23	25
3-5	60	40	33	22	26

Как свидетельствуют полученные данные, несминаемость льняных тканей в результате их смягчения повышается. Использование в качестве мягчителя дисперсии метилового эфира растительного масла с добавлением неанола в различных концентрациях увеличивает несминаемость на 3 – 6 %, при этом максимальное значение несминаемости – 27 %, ткани получают при концентрации неанола 20 г/л и 30 г/л (варианты 2-3, 2-4). Анализируя влияние различных видов мягчителей следует отметить, что высокий показатель несминаемости – 32 %, зафиксирован для ткани, обработанной полиэтиленовой эмульсией (вариант 3-3), для которой несминаемость увеличилась на 9 % по сравнению с базовой тканью.

Ткань, которая подвергалась смягчению механическим путем на специальном оборудовании (вариант 3-5), по показателю несминаемости приближается к образцам, обработанным дисперсией метилового эфира растительного масла с добавлением неонала в различных концентрациях.

Заключение

Установлено, что смягчение льняных тканей положительно влияет на показатели их несминаемости, причем более высокие показатели обеспечивает технология их обработки с применением смягчающих композиций по сравнению с умягчением их механическим способом.

Литература

1. Венгер О.О. Використання ферментів для модифікації грифу текстильних матеріалів / О.О. Венгер, Г.В. Міщенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 3/6 (51). – С. 42 – 44.
2. Садова С.Ф. Использование низкотемпературной плазмы для совершенствования малосминаемой отделки льняных материалов / С.Ф. Садова, Е.В. Наумов, А.С. Кечекьян, В.А. Королев // Текстильная промышленность. – 1995. – № 3. – С.24-27.
3. Месник О.М. Малотоксичные препараты для заключительной отделки целлюлозосодержащих тканей / О.М. Месник, А.А. Полушина, С.А. Кокшаров, А.П. Морыганов // Текстильная химия. – 1993. – № 2. – С. 26 – 30.
4. Петрова О.В. Новое поколение препаратов для специальных отделок / О.В. Петрова, Е.Ю. Бондарева // ЛегПром Бизнес. – Директор, 2004. – № 5. – С. 15.
5. Соколенко Л.А. Совершенствование метода оценки драпируемости как фактора эстетических свойств текстильных материалов : Дис. канд. техн. наук. – Киев, 1997. – 137 с.
6. Полотна текстильные. Метод определения несминаемости. ГОСТ 19204-73 – [Взамен ГОСТ 9782-61 в части хлопчатобумажных, шелковых и льняных тканей и штучных изделий]. – [Введен в действие 1975-01-01]. – Москва: Издательство стандартов, 1985. – 9 с.
7. Пархоменко В.Г. Товароведение текстильных товаров. [Текст] / Василий Георгиевич Пархоменко. – М. : «Экономика», 1966. – 479 с.
8. Пугачевський Г.Ф. Товарознавство непродовольчих товарів. Частина І. Текстильне товарознавство / Г.Ф. Пугачевський, Б.Д. Семак. [Підручник для студентів товарознавчих спеціальностей вищих закладів освіти]. – К. : НМЦ «Укоопосвіта», 1999. – 595 с.

Рецензія/Peer review : 17.9.2015 р. Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Кожушко Г.М.

УДК 671.5

Л.О. ПАВЛІШ

Ужгородський торговельно-економічний інститут КНТЕУ

ЯКІСТЬ КОСМЕТИЧНИХ ВИРОБІВ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬСЯ В УКРАЇНІ

В роботі досліджено проблему контролю якості косметичних виробів, які реалізуються у торговельній мережі Західного регіону України, зокрема торговельною мережею аптечних закладів. Розглянуто питання їх відповідності вимогам вітчизняних нормативних документів на предмет безпечності та нешкідливості для споживачів.

Зроблений висновок про обов'язковість проведення незалежного контролю торговельного асортименту косметичних виробів, які реалізуються в аптеках, їх відповідності спеціальному лікувальному та декоративному призначенню, забезпеченню контролюючих органів необхідними засобами для проведення експрес-досліджень.

Ключові слова: косметичний виріб, торговельна мережа, косметичний засіб, якість, безпека, нешкідливість, нормативний документ, хлориди, важкі метали.

L.O. PAVLYSH

Uzhgorod Trade and Economic Institute KNTEU

THE QUALITY OF COSMETIC PRODUCTS SOLD IN UKRAINE

In this work the problem of quality control of cosmetic products that are sold in retail network in Western Ukraine, including trade network pharmacies. The question of their compliance with national regulations in terms of safety and harmlessness for consumers considered.

The conclusion on the obligation of carrying out the independent control of the trading range of cosmetic products that are sold in pharmacies, their compliance with special medical and decorative purpose, providing control authorities the means to conduct rapid research.

Keywords: beauty product, sales network, cosmetic, quality, safety, harmlessness.

Постановка проблеми

Попри нібито насичення внутрішнього ринку країни різноманітними товарами обраної для дослідження асортиментної групи виробів вітчизняного та закордонного виробництва, косметичні засоби, на жаль, часто характеризуються низькою якістю, небезпечністю для організму людини, а іноді і просто

виявляються сфальсифікованими. При цьому, коли вимоги до гарантії нешкідливості та ефективності стають одними з головних критеріїв під час вибору таких виробів, перевага повинна надаватися продукції, що поєднує відповідність можливостей фармацевтики властивостям косметики і показникам їх безпеки.

На сьогодні косметичні засоби міцно увійшли в торговельний асортимент виробів, які пропонуються до реалізації аптечною торговельною мережею. Як відомо, аптекарі здавна торгували не лише лікарськими препаратами, а й ароматичними маслами, бальзамами, які самі виготовляли, а також свічками, милом, різними спеціями, вином тощо. Проте, за радянських часів в аптеках продавалася незначна кількість парфумерно-косметичних товарів. У період комерціалізації фармацевтичної діяльності в Україні частка косметичних товарів в асортименті аптек стала збільшуватися. Зараз в аптечних закладах представлений широкий асортимент так званих парафармацевтичних товарів (зокрема косметики) різних виробників, різної цінової категорії, призначений для вирішення різних косметичних проблем.

На думку фахівців [1], останнім часом косметичні товари вітчизняного виробництва стають все більш конкурентоздатними через порівняно нижчу ціну та високий вміст натуральних компонентів. Проте «агресивні» рекламні заходи і, можливо, специфічні особливості вітчизняного споживача цієї продукції (насамперед, жінок) визначають перевагу попиту на імпорту косметику, особливо таку, що виробляється знаними в світі виробниками. Водночас пропоновані ними ефекти часто далекі від очікуваних. Одна з причин цього – надходження на український ринок фальсифікованої продукції або такої, яка виготовлена з порушенням виробничих технологічних процесів, пакування, транспортування і умов зберігання. Використання науково обґрунтованих принципів та методів оцінювання якості косметичних засобів повинно дозволити запобігти надходженню в Україну неякісної продукції і зберегти матеріальні кошти, а іноді і здоров'я українського споживача.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Косметичну продукцію за кордоном виробляють понад 500 фірм і підприємств, але більше половини обсягу виробництва сконцентровано в руках 10 найбільших компаній: «L'Oreal» (Франція), «Procter & Gamble» (США), «Revlon» (США), «Florena», «Londa», «Wella», «Schwarzkopf» (Німеччина), «Ogilvy» (Швеція), «Lumene» (Фінляндія) та ін. Найбільшим виробником косметичних товарів є США (близько 13% від загального обсягу). Приблизно стільки ж продукції виробляється в Європі. Для структури асортименту, що виробляється в світі парфумерно-косметичної промисловістю, характерна значна частка косметичної продукції, причому близько 65% становлять засоби для догляду за шкірою [1]. До недавнього часу питома вага у споживанні імпортованих косметичних товарів в Україні за окремими групами (наприклад, засоби з догляду за шкірою, за волоссям) коливалася від 60 до 80% [2]. За такими товарними групами і видами товарів, як зубна паста, дезодоранти, креми для гоління, лак для волосся, декоративна косметика, туалетна вода, ринок України майже на 95-100% заповнений імпортованою продукцією.

В даний час в Україні більше 120 компаній займаються реалізацією косметичних товарів. Серед них давно відомі виробники і багато нових, серед яких також добре себе зарекомендували виробники з країн СНД. Насиченість українського ринку імпортованими товарами, високі ціни товарів відомих західних фірм, низька якість дешевих підробок дозволили вітчизняним виробникам підвищити конкурентоспроможність власних виробів. Частка вітчизняних косметичних товарів на споживчому ринку України сьогодні досить висока і постійно збільшується. За оцінкою фахівців, кожний третій покупець воліє купувати вітчизняну косметику, тому що ціни на неї значно нижчі, ніж на імпорту, а довіра до якості залишається високою завдяки суворим вимогам нормативних документів. Багато українських підприємств випускають продукцію, яка за своїми властивостями і зовнішнім оформленням цілком може скласти конкуренцію широко розрекламованій імпортованій косметиці [3]. На споживчому ринку за обсягами продажу парфумерія і косметика посідають четверте місце.

Поряд із цим, через недоліки при виконанні контрольних функцій з боку митних органів, незнання чинних в державі нормативних документів, недостатню опрацьованість питань якості виробів в контрактах (договорах) приводять до проникнення на споживчий ринок неякісної або взагалі фальсифікованої продукції. Зустрічаються випадки виробництва неякісної продукції і вітчизняними виробниками косметичних виробів.

Згідно з діючим в Україні законодавством, реалізація косметичних виробів здійснюється у відповідності до [4, гл. 10]. Поряд із цим аптечні організації, індивідуальні підприємці, що мають ліцензію на фармацевтичну діяльність, поряд з лікарськими препаратами мають право придбавати та продавати вироби медичного призначення, зокрема *лікувальну парфумерно-косметичну продукцію* [5, п. 9]. Проте у чинному законодавстві не дається пояснення того, які позиції товарного асортименту представляють цю товарну групу, а також інші групи товарного асортименту нелікувального призначення.

Отже, питання оцінювання та контролю якості косметичних виробів, у тому числі і тих, що реалізуються через аптечну мережу, як елементу захисту споживача від неякісної, а часом і шкідливої продукції, є надзвичайно актуальним.

Формулювання цілі статті

Метою дослідження було оцінювання якості косметичних виробів, які реалізуються в західному регіоні України, зокрема і через торговельні заклади аптечної мережі.

Виклад основного матеріалу

У наші дні асортимент косметичних виробів дуже широкий і різноманітний. Це різні засоби, призначені для очищення, захисту та надання привабливого зовнішнього вигляду. Основне правило при виробництві косметики – застосування високоякісної сировини, нешкідливої для шкіри і організму людини.

Косметичні товари мають багатоконпонентний склад, окремі компоненти можуть взаємодіяти між собою, по-різному впливати на шкіру і волосся людини, що має бути враховано при розробці інгредієнтного складу виробів. Визначення рецептури і вибір сировини проводяться з урахуванням вимог Керівництва по косметичній продукції, затвердженого в ЄС та вітчизняних СанПіН [6].

Згідно із завданням Держспоживінспекції України щодо перевірки дотримання суб'єктами господарювання вимог законодавства про захист прав споживачів при реалізації косметичних товарів, у тому числі для дітей, спеціалістами інспекції з питань захисту прав споживачів у Закарпатській області у січні-лютому 2015 року проведені перевірки у 14-ти суб'єктів господарювання різних форм власності [7]. Основні обсяги продукції вказаного асортименту завозяться з оптових підприємств міст Києва та Харкова, в яких розміщені офіційні представництва відомих європейських виробників досліджуваної продукції, такі як «Флораль Україна», «Юнілевер Україна», ПП «Юнітоп», ТОВ «ДІА», ТОВ «Петрус» та інші (табл.1).

Таблиця 1

Порівняльні дані властивостей кремів для рук

Найменування	«Ворожея»	«Flora»	«Спеціальний»	«Bendida»
Виготовлювач	«Невская косметика» (РФ)	«Ален Мак» (Болгарія)		
Об'єм, мл	65	65	45	100
Призначення	Пом'якшуючий, зволожуючий	захисний	захисний	живильний
Водневий показник, рН	8,25	8,10	8,57	8,23
Мас. частка гліцерину %	10,50	5,02	8,92	7,15
Мас. частка води і летючих речовин %	72,0	70,3	75,3	71,7
Мас. частка загального лугу %	0,17	0,19	0,23	0,17
Всмоктування шкірою	добре	добре	добре	погане
Стягуючий ефект, сухість	відсутній	відсутній	відсутній	відсутній
Дратівлива дія	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня
Заспокійлива дія	добра	добра	добра	добра

При перевірці дотримання законодавства про захист прав споживачів при реалізації косметичних товарів було забраковано та знято з реалізації майже 20% від перевіреної кількості товару, причинами чого було: відсутність документів, що підтверджують якість виробів; невідповідність вимогам НД; порушення правил торгівлі та зберігання виробів; прострочені терміни придатності; відсутність необхідної, доступної, достовірної та своєчасної інформації про товар тощо.

Слід зазначити, що дослідження косметичних товарів в умовах проведених контрольних інспекційних заходів було можливе тільки за органолептичними показниками (зміни зовнішнього вигляду, кольору, запаху косметичних товарів, що свідчать про зниження якості, а використання цих товарів може бути небезпечно для людини) є неповним без проведення лабораторних товарознавчих досліджень їх якості, оскільки цілий ряд фізико-хімічних показників безпеки косметичних товарів (вміст сполук свинцю, миш'яку, ртуті, які є недопустимим; водневий показник рН, кислотне число та ін.) залишаються неохопленими.

Однак, безпечність косметичних засобів залежить від їх складу, якості вихідних компонентів, технологічного процесу отримання, умов зберігання і продажу, умов споживання. На кожному етапі споживчого циклу в косметичних засобах можуть відбуватися ті чи інші процеси, що зокрема, викликають зміни, небезпечні для здоров'я людини. Наприклад, консерванти, які вводяться в косметичні вироби для збільшення термінів їх зберігання, пригнічують розвиток різноманітної бактеріальної флори. Проте є істотне логічне зауваження: що є отрутою для бактерійної клітини, те ж є отрутою і для клітини людини.

Окрім широкого спектру органічних речовин, до складу косметичних засобів входять також неорганічні сполуки - основи як у вільному, так і в зв'язаному стані, натрій хлорид, деякі важкі метали тощо. Роль основ відіграють не лише основи як такі, а й солі, утворені сильними основами і слабкими кислотами, наприклад, карбонати, гідрогенкарбонати, бура, поташ, етаноламіни тощо. Фізіологічна дія основ на шкіру зводиться до вилучення з неї води, також активне емульгування жирів і, як наслідок, відторгнення верхнього шару шкіри, що використовують для видалення веснянок. Слабкі основи видаляють жир шкірних залоз і невелику кількість виділень потових залоз. Цю якість ознаку використовують для очищення шкіри і волосся, для усунення запальних процесів внаслідок затримки виділень секрету залоз (вугрі, чорні цятки). Однак, тривале використання продуктів, що містять основи, роблять шкіру жорсткою і чутливою, а волосся сухим і ламким. Застосування сильних основ допускається тільки у спеціальних засобах місцевої дії або ж при виготовленні мийних засобів. Нами досліджений вміст вільних та зв'язаних основ в деяких косметичних засобах методом поетапного кислотно-основного титрування [8]. За результатами

титриметричного аналізу вільні основи не виявлені в жодному із досліджених засобів, що є ознакою хорошої якості останніх. Зв'язані основи виявлені в кожному із досліджених зразків, їх кількість наведена у таблиці 2.

Отримані результати вказують на суттєву відмінність вмісту зв'язаних основ в досліджених засобах по догляду за обличчям. Найменший їх вміст ($2\% \cdot 10^4$) виявлений у помаді для губ Avon, що можна розцінювати як ознаку безпечності її використання. Найбільший вміст зв'язаних основ ($13-16\% \cdot 10^4$) виявився у нічному кремі, зимовому кремі та тональних кремах для обличчя, застосування яких вимагає певної обережності. Проте їх вміст не перевищує допустимі норми, що свідчить про безпечність їх використання.

Таблиця 2
Масова частка зв'язаних основ у кремах для рук

Назва крему для рук	Масова частка зв'язаних основ, $\% \cdot 10^4$
Oriflame, крем для обличчя Aloe vera	9
Oriflame, тональний крем Visions	13
Avon, Помада для губ	2
Чистая линия. Крем ночной Облепиха и шиповник	16
Oriflame 2 in 1 Proecting Hand&Nail Cream	6
Beauty Skin молочко очищающий	10
Крем тональний Жизель Тон натуральний	16
Oriflame Cranberry Зимовий крем для обличчя	14
Eveline cosmetics Pure control S.O.S. Тональний крем	16
Faberlic Air tone	3
Garnier Skin naturals Чиста шкіра	7

Таблиця 3
Вміст хлоридів в косметичних засобах для догляду за волоссям

Назва засобу для догляду за волоссям	Масова частка хлорид-аніонів, %
Elseve L'OREAL Paris	1,3
Nivea, Идеальная чистота	2,3
Виелита Кумыс	1,9
Herbal essences. Поцелуй дождя	1,0
Garnier Fructis	1,8
Чистая линия. Для ломких и ослабленных волос	1,5
Gliss Kur (Schwarzkopf). Бальзам	0,2

Натрій хлорид є незамінним компонентом майже всіх засобів по догляду за волоссям. Він виконує одразу декілька важливих функцій - є стабілізатором, загусником піни та консервантом. Проте відомо, що натрій хлорид відчутно подразнює поверхню волосин і може зашкодити структурі волосся та шкірі голови. Тому існують певні правила застосування шампунів. У таблиці 3 наведені результати нашого дослідження вмісту натрій хлориду в шампунях різних виробників. За результатами дослідження найменший вміст хлоридів (0,2%) виявлено в бальзамі Gliss Kur (Schwarzkopf); найбільший (2,3%) - в шампуні Nivea - Идеальная чистота. За вимогами НД масова частка хлоридів не повинна перевищувати 6,0% у шампунях для дорослих і не більше 2,0% у шампунях для дітей. Тобто, зразки всіх досліджених шампунів відповідають санітарним нормам і є безпечними для споживання.

Таблиця 4

Вміст суми важких металів у косметичних засобах

Назва косметичного засобу	Виробник косметичного засобу	Масова частка суми важких металів, $\% \cdot 10^3$
Advance techniques Professional hair care styling Рідкий спрей-віск для укладки волосся, (150 мл)	Avon (Росія)	1,4
Advance techniques daily shine Сироватка для сухих кінчиків волосся, (30 мл)	Avon (Росія)	1,5
Rexona women Expert protection Crystal clear aqua Дезодорант-антиперспірант, (50мл)	Rexona (Росія)	0,9
Oriflame aloe vera soothing toner Заспокійливий тонік Алое», (150 мл)	Oriflame (Росія)	0,9
Garnier mineral deodorant Дезодорант-антиперспірант, (50 мл)	Garnier (Росія)	2,6
Чистая линия. Фітотерапія «Здоровая кожа» Лосьйон-тонік на відварі 100 мл	Чистая линия (Росія)	1,4
Тонік відтінковий бальзам 4.0 шоколад, (150 мл)	РоКОЛОП (Росія)	1,6

В складі косметичних засобів містяться також сполуки важких металів, що виконують

комплексоутворюючу, зв'язуючу та транспортну функції. Серед важких металів виділяють 14 найбільш токсичних: Hg, Pb, Cd, As, Sb, Sn, Zn, Al, Be, Fe, Cu, Cr, Tl, Ni. Незважаючи на токсичність більшості важких металів як хімічних елементів, у косметичних засобах найчастіше присутні Al, Zn, Pb, Cd. Інші важкі метали зустрічаються набагато рідше. Незважаючи на велике різноманіття складних речовин за участю важких металів, загальний вміст останніх в косметичних засобах є дуже низьким і отже практично безпечним для використання відповідних засобів гігієни. Оскільки дуже малу кількість окремого металу досить складно визначити як якісно, так і кількісно, виробники, як правило, зазначають сумарний вміст металів в косметичному засобі. Нами досліджений загальний вміст важких металів в декількох косметичних засобах фотоколориметричним методом за методичними вимогами [9].

Дослідженням встановлено (табл. 4), що найменший вміст загальної кількості важких металів мають тонік Oriflame «Алоэ» ($0,9\% \cdot 10^3$) та дезодорант-антиперспірант Rexona Crystal clear aqua ($0,9\% \cdot 10^3$); найбільший вміст – у дезодоранті-антиперспіранті Garnier mineral ($2,6\% \cdot 10^3$), що дещо перевищує допустиму норму ($2,0\% \cdot 10^3$).

Тобто, результати проведеного фізико-хімічного дослідження низки засобів особистої гігієни різного призначення дозволяють констатувати, що за вмістом зв'язаних основ, хлоридів та загальної кількості важких металів практично всі досліджені косметичні засоби вітчизняних та зарубіжних виробників відповідають санітарним нормам і є якісною продукцією на українському ринку споживчих товарів.

Висновок

Безпечність та нешкідливість косметичних засобів залежить від їх складу, якості вихідних компонентів, технологічного процесу отримання, умов зберігання і продажу, умов споживання. На кожному етапі споживчого циклу в косметичних засобах можуть відбуватися ті чи інші процеси, які, зокрема, викликають у них зміни, небезпечні для здоров'я людини. При цьому, тривале використання косметичної продукції, що містить певні інгредієнтні домішки, роблять шкіру жорсткою і чутливою, волосся сухим і ламким та ін. Застосування таких домішок допускається тільки у спеціальних косметичних засобах місцевої дії, зокрема тих, що дозволені до реалізації в торговельній мережі аптечних закладів.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що в основній масі цією мережею реалізуються косметичні вироби, які в цілому відповідають вимогам НД на предмет відповідності показникам безпеки та нешкідливості. Проте, відміна обов'язкової сертифікації відповідності і заміна її декларуванням відповідності з боку виробника може негативно відбитися на дотриманні ними цих вимог до засобів декоративної та лікувальної косметики, підміною одних другими, особливо при реалізації споживачам через торговельні заклади медичних установ, з огляду на специфічність функцій, які вони виконують та обмеження в діях контролюючих органів, які мають право здійснювати в них свої перевірні функції, а також відсутність у них необхідного випробувального обладнання за засобів вимірювальної техніки для здійснення поточного експрес-контролю.

Література

1. Вишнікіна О.В., Лихолат О.А. Хімічна експертиза якості косметичних засобів, що імпортуються в Україну [Електронний ресурс] / О.В. Вишнікіна, О.А. Лихолат . – Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/Vamsu_tekhn/2009_1/Vyshnikina,%20Lyholat/Vyshnikina,%20Lyholat.htm.
2. Жири в косметиці. Жирові основи косметичних засобів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ywoman.ru/page/zhiri-v-kosmetici-zhirovi-osnovi-kosmetichnih-zasobiv>.
3. Обзор ситуации на рынке легкой промышленности Украины [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mtf.com.ua/page/news_w2.htm.
4. Україна. Міністерство економіки України. Наказ Про затвердження Правил роздрібної торгівлі непродовольчими товарами: від 19.04.2007 р. № 104 (поточна редакція) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1257-07/page>.
5. Україна. Кабінет Міністрів України. Постанова Про затвердження Правил торгівлі лікарськими засобами в аптечних закладах: від 17.10.2004 р. № 1570 (поточна редакція) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1570-2004-%EF>.
6. Косметическая Директива ЕС 76/768/ЕЕС (Руководство по косметической продукции Европейского Сообщества). Приложение II [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakonbase.ru/content/part/416812>.
7. Звіт Державної інспекції у справах захисту прав споживачів у Закарпатській області у 1-му кварталі 2015 р.
8. Башура А. Г. Технология косметических и парфюмерных средств / А. Г. Башура. – Харьков : Изд-во НФАУ, 2002. – 272 с.
9. ГОСТ 51579-98. Изделия косметические жидкие. Общие технические условия. – М.: Госкомитет стандартов, 1999. – 51 с.

УДК 681.391.1 (043.2)

В.М КИЧАК, В.Д. ТРОМСЮК
Вінницький національний технічний університет**КОРЕЛЯЦІЙНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БІТОВИХ ПОМИЛОК**

У даній роботі запропонований і обґрунтований кореляційний метод вимірювання бітових помилок, що дозволяє виявляти бітові помилки на фоні адитивних завад і оцінювати їх параметри. Наведені алгоритми роботи методу, що підтверджують високу ефективність вимірювання параметрів бітових помилок.

Ключові слова: бітова помилка, вставки, випадання, адитивні бітові помилки.

V.M. KYCHAK, V.D. TROMIYUK
Vinnytsia National Technical University, Ukraine**CORRELATION METHOD PARAMETER ESTIMATION BIT ERROR**

Abstract – The aim - to develop correlative method of control parameters bit errors, building detection algorithm and computation of bit error parameters and algorithm that can handle every step only input and output bits investigational bit windows.

During the control parameters of bit errors occur the following problems: synchronization receiving and transmitting equipment, loss of data during measurement, measurement of long duration and others. The solution to these problems is the correlation method that can detect bit errors on additive background noise and evaluate their options. The algorithm allows qualitatively show the effectiveness of the correlation method of control parameters bit errors.

Thus, despite the complexity of hardware implementation method using correlation method can detect bit errors on additive background noise and calculate their parameters, and separated from each other errors of various types: insertion loss and background additive error.

Keywords: bit error, insertion, delete, error addition bit.

Вступ

Сучасні методи контролю параметрів бітових помилок базуються на порівнянні прийнятої та переданої псевдовипадкових послідовностей (ПВП) і не враховують такі параметри бітових помилок, як вставки і випадання бітів. [1]. На перший погляд вимірювання параметрів бітових помилок досить проста процедура, однак, незважаючи на це, під час вимірювання виникають наступні проблеми: синхронізації приймального та передавального обладнання, втрати даних під час вимірювання, великої тривалості вимірювання та інші [2]. Тому виникає потреба вимірювання і контролю бітових помилок і одиничних адитивних помилок.

Для вирішення проблем контролю бітових помилок використовують різноманітні апаратні та програмні засоби. Однак існуючі методи контролю вимагають вдосконалення, оскільки передбачають велику тривалість вимірювання, що негативно впливає на показники швидкодії та якість прийнятих дискретних сигналів.

Аналіз досліджень та публікацій

Бітові помилки виникають на виходах демодуляторів в трактах зовнішніх запам'ятовувачих пристроїв ЕОМ і модемах телекомунікаційних каналів зв'язку [1-3]. Вони з'являються у вигляді вставок і випадань бітів в демодульованій дискретній інформаційній послідовності, що приводить до її зсуву і до утворення довгих пакетів помилок, що перевищує корегувальну здатність самих потужних завадостійких кодів [2]. Для оцінки якості дискретного каналу і проектування пристрою, який буде виправляти бітові помилки необхідно знати діапазон зміни їх параметрів: довжини вставок (випадань) та їх позиції в пакеті даних, що передається (даних на виході демодулятора). Названі параметри помилок можуть бути знайдені в результаті статистичних досліджень каналів за допомогою швидкодіючих спеціалізованих обчислювальних пристроїв, які працюють в реальному масштабі часу на тактовій частоті демодульованої послідовності [4]. Спеціалізований алгоритм повинен виявляти появу вставок (випадань), точно вираховувати їх довжину и визначати їх положення в демодульованій дискретній послідовності інформації. Для контролю параметрів бітових помилок в телекомунікаційних системах зв'язку використовують еталонні сигнали часу і частоти (ЕСЧЧ). Такі сигнали 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 [4].

Алгоритм визначення бітової помилки

Формальна постановка задачі виявлення помилок синхронізації полягає в наступному. Якщо є деякий дискретний канал передачі даних, в якому можуть з'являтися наступні типи помилок:

- бітові помилки, які є вставками або випаданнями бітів в довільних місцях переданої через канал ПВП;
- адитивні помилки, які з'являються в інверсії деяких біт тестової послідовності.

При цьому необхідно на основі аналізу переданої через канал тестової послідовності визначити наступні параметри бітових помилок (рис. 1): позиції L (позиції в інформаційній послідовності); типи

помилки (вставка Ins або випадання Del); довжини помилок ΔL в бітах.

У роботі використаний і удосконалений метод контролю помилок синхронізації, який був запропонований George R. Varian [5]. Метод базується на прийнятій із дискретного каналу бітовій послідовності, яка утворена із поданої на вхід еталонної тестової послідовності, при цьому виділяються два суміжних відрізки довжини k біт, які мають один спільний біт. Ці відрізки назвемо відповідно – правим і лівим вікном (рис. 1).

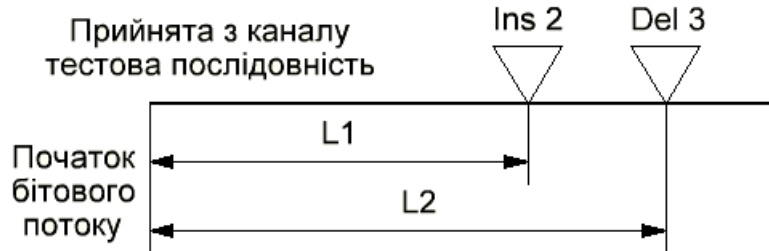


Рис. 1. Бітові помилки і їх параметри (Ins 2 – вставка двох бітів; Del 3 – випадання 3 бітів; L1, L2 – позиції бітових помилок)

У кожному вікні блоками формування оцінок обраховують міри близькості між відрізками прийнятої із каналу еталонної тестової послідовності та усіма можливими її циклічними зсувами. Далі визначається величина зсуву L , якій відповідає максимальне значення даної міри. Таким чином, отримуємо дві оцінки найбільш імовірних значень фаз послідовностей в кожному із вікон відносно центрального біта (зліва L_l і з права L_r). При цьому початкова задача виявлення помилок розділяється на дві рівноправні задачі визначення фаз в кожному із вікон. При цьому схема обробки лівого і правого відрізків вихідної послідовності досліджуваного дискретного каналу приведена на рисунку 2.



Рис. 2. Структурна схема пристрою виявлення бітових помилок

Знайдені оцінки значень фаз L_l і L_r дозволяють визначити наявність, число вставлених біт і (або) тих, що випали. По різниці оцінок можна судити про величину вставок ΔL_{Ins} або випадань ΔL_{Del} .

$$\Delta L_{Ins} = (L_r - L_l) \bmod T, \Delta L_{Del} = (L_l - L_r) \bmod T,$$

де T – період ПВП, яка аналізується.

Менша із величин ΔL_{Ins} або ΔL_{Del} визначає, що відбулося: вставка або випадання бітів. Якщо $\Delta L = 0$, то вставки або випадання біт будуть відсутніми. Максимальна довжина правильно виявлених вставок або випадань обмежується половиною періоду тестової ПВП $T/2$, оскільки $\Delta L_{Ins} + \Delta L_{Del} = T$, а приймання рішення про тип і довжину бітової помилки здійснюється по максимуму правдоподібності [6] (це означає, що виникнення бітової помилки великої довжини є малоімовірною подією), а саме – по меншому із двох значень: ΔL_{Ins} і ΔL_{Del} .

Алгоритм виявлення і обчислення параметрів бітових помилок на основі аналізу в кожному такті оцінок найбільш вірогідних фаз здійснює реєстрацію бітових помилок. Алгоритм передбачає перегляд прийнятої із каналу бітової послідовності, обчислення найбільш імовірних фаз в кожному із вікон і обчислення їх різниці ΔL з наступним прийняттям рішення про наявність, тип і довжину бітових помилок (рис. 4 а):

1. Обраховати оцінки найбільш вірогідних фаз і їх вагу для лівого (L_l , W_l) і правого (L_r , W_r) вікон.
2. Якщо $L_l = L_r$, то необхідно перейти до пункту 7.
3. Якщо $Prev W_l < Prev W_r$ або $W_l > W_r$, то необхідно перейти до пункту 7.
4. Якщо $W_l < Threshold$ або $W_r < Threshold$, то необхідно подати на вихід "Шум" і перейти до пункту

7.

5. Обрахувати $\Delta L_{Ins} = (L_r - L_l) \bmod T$ і $\Delta L_{Del} = (L_l - L_r) \bmod T$.

6. Якщо $\Delta L_{Ins} < \Delta L_{Del}$, то фіксуємо вставку ΔL_{Ins} біт, в іншому випадку фіксується випадання ΔL_{Del} біт.

7. Запамятати поточні значення: $Prev W_l = W_l$, $Prev W_r = W_r$.

8. Перейти до 1 пункту.

Threshold – мінімально допустиме граничне відображення значень. Зниження значень (W_l і W_r) нижче значень порогу Threshold свідчить про недопустимо високий рівень бітових помилок в дискретному каналі і про неможливість обчислення параметрів бітових помилок.

Таким чином одна із основних задач, яка виникає при виявленні бітових помилок – це ефективне обчислення міри близькості прийнятої із каналу послідовності і циклічними зсувами еталонної тестової послідовності з максимальною швидкістю передачі і при мінімальних апаратних затратах. Її рішення може бути основане на застосуванні двох відомих методів, в яких застосовуються властивості ПВП [5].

Оцінка якості кореляційного методу

В якості названої вище міри близькості двох двійкових послідовностей в кореляційному методі прийняте значення коефіцієнта взаємної кореляції. Обраховується перерахована множина коефіцієнтів шляхом побітового порівняння прийнятої із дискретного каналу послідовності в межах досліджуваного вікна зі всіма можливими циклічними зсувами ЕСЧЧ. Далі підраховується кількість біт, що співпадає і проводиться наступний вибір найбільш імовірної фази – номера циклічного зсуву, які відповідають максимальному значенню коефіцієнта взаємної кореляції. Найбільш підходящою тестовою послідовністю для виявлення бітових помилок є ПВП з авто кореляційною функцією, яка має бути близькою до дельта-функції. До таких послідовностей в більшості випадків відносяться М-послідовності.

Математично операція кореляційного знаходження найбільш імовірної фази для вікна довжиною k може бути записана наступним чином:

$$L = \arg \max \left\{ \sum_{t=0}^{k-1} b_t \oplus a_{(i+t) \bmod T} \right\}, W_i = \sum_{t=0}^{k-1} b_t \oplus a_{(i+t) \bmod T}, i = \overline{0, T-1},$$

де L – найбільш імовірна фаза послідовності; W_i – значення коефіцієнта взаємної кореляції між відрізком вихідної послідовності досліджуваного каналу та i -тим циклічним зсувом еталонної тестової послідовності; a_i – елемент еталонної тестової послідовності; b_i – елемент прийнятої із каналу послідовності; T – період еталонної тестової послідовності.

Операція знаходження найбільш імовірної фази може бути спрощена наступним чином, за рахунок виключення обробки всіх біт вікна на кожному кроці. Для цього введемо T лічильників ($W_0 \dots W_{T-1}$) для зберігання значень коефіцієнтів взаємної кореляції (значень) на кожному кроці і лічильник по модулю T . Для цього введемо наступні позначення:

1. Вхід: b_{in} – вхідний біт ковзаючого вікна; b_{out} – вихідний біт ковзаючого вікна; $a_0 \dots a_{T-1}$ – елементи еталонної тестової послідовності; C – значення лічильника по модулю T .

2. Вихід: L – найбільш імовірна фаза на поточному кроці; W – максимальне значення коефіцієнта взаємної кореляції, який відповідає найбільш імовірній фазі.

Операція знаходження найбільш імовірної фази може бути записана у вигляді наступного алгоритму (табл. 1), який обробляє на кожному кроці тільки вхідний і вихідний біти досліджуваного вікна (рис. 4б).

Таблиця 1

Операція знаходження найбільш імовірної фази

№ кроку	Дія	№ кроку	Дія
1	$i=0$	6	$L=0, W=0, i=0$
2	Якщо $a_{(i+C) \bmod T} = b_{in}$, то $W_i = W_{i+1}$	7	Якщо $W_i > W$, то $W=W_i, L=i$
3	Якщо $a_{(i+C+k) \bmod T} = b_{out}$, то $W_i = W_{i-1}$	8	$i = i-1$
4	$i = i+1$	9	Якщо $i < T$, то необхідно перейти до п. 7
5	Якщо $i < T$, то необхідно перейти до п. 2	10	$C = (C+1) \bmod T$

Структурна схема блока знаходження найбільш імовірної фази, за допомогою якої реалізується описаний вище метод, показана на рисунку 3.

В даній схемі значення коефіцієнтів взаємної кореляції, знайдені на попередньому такті, використовуються для обчислення значень коефіцієнтів взаємної кореляції в поточному такті. Блок обрахування множини коефіцієнтів взаємної кореляції реалізує крок 1-5 наведеного вище алгоритму. Мережа компараторів призначена для виділення номера ($0 \dots T-1$) лічильника з найбільшим значенням (W), тобто для отримання оцінки найбільш імовірної фази (кроки 6-9 наведеного вище алгоритму).

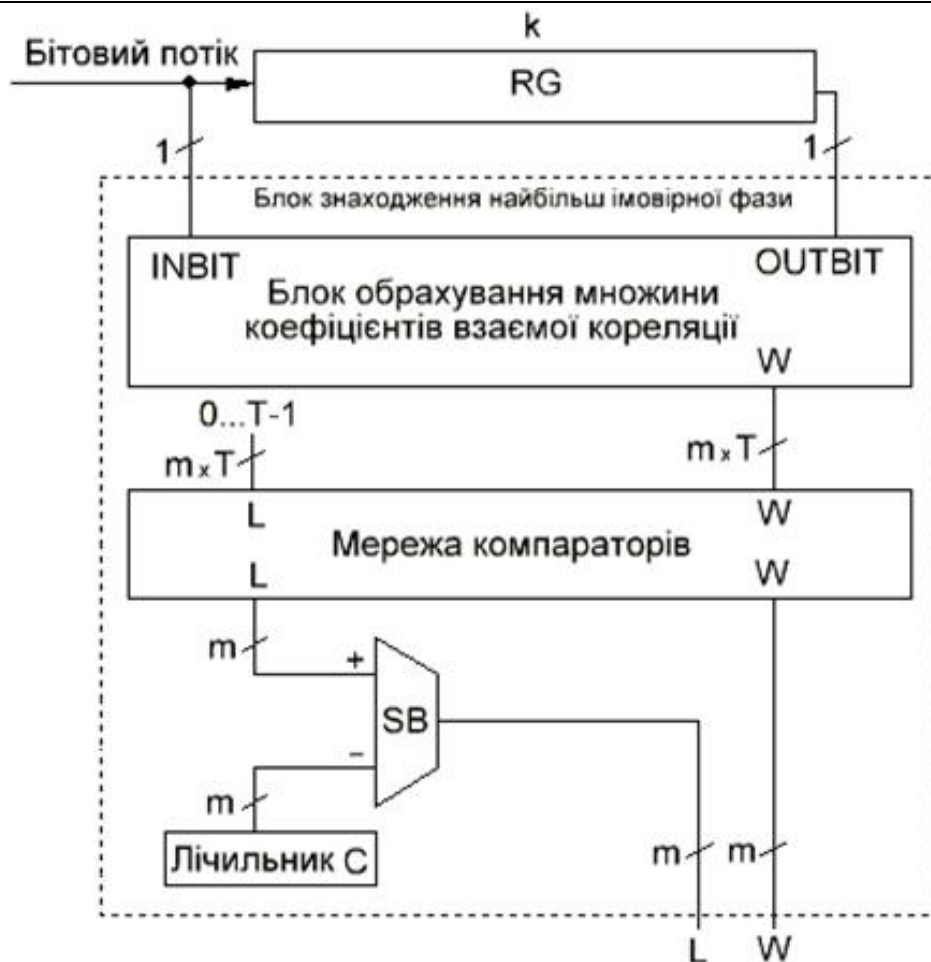


Рис. 3. Структурна схема блоку знаходження найбільш імовірної фази

Оцінка обчислювальної складності даного методу при послідовній реалізації обчислювальних процесів рівна $O(T)$ тактів, оскільки вона визначається кількістю ітерацій (шаг циклу) циклів алгоритму знаходження найбільш імовірної фази. Об'єм потрібної пам'яті також оцінюється величиною $O(T)$, в зв'язку з тим, що вона визначається в основному тільки T лічильниками для збереження значень коефіцієнтів взаємної кореляції.

Передбачається, що апаратна складність пристрою, в якому реалізується даний метод, буде досить високою, оскільки кількість компараторів, які потрібні для побудови мережі дорівнює T .

Висновки

Розроблений алгоритм виявлення і обчислення параметрів бітових помилок на фоні адитивних завад, який базується на використанні в якості тестових послідовностей таких ПВП, автокореляційна функція яких наближається до дельта-функції, а також на обчисленні різниці найбільш імовірних фаз в двох суміжних відрізках прийнятої із досліджуваного дискретного каналу бітової послідовності. Порогові значення виявлених і обрахованих довжин вставок і випадань обмежуються половиною періоду застосованої ПВП.

Запропонований кореляційний метод обрахування параметрів бітових помилок для якого не важлива структура ПВП. Запропонований метод дозволяє виявляти бітові помилки на фоні адитивних завад і обчислювати їх параметри, а також відокремлювати одну від одної помилки різних типів: вставки, випадання і фонові адитивні помилки.

Оцінка обчислювальної складності даного методу при послідовній реалізації обчислювальних процесів рівна $O(T)$ тактів, що дозволяє знаходити значення найбільш імовірної фази практично в реальному часі вимірювань, що підвищує швидкість і надійність контролю параметрів бітових помилок на виході демодуляторів дискретних сигналів.

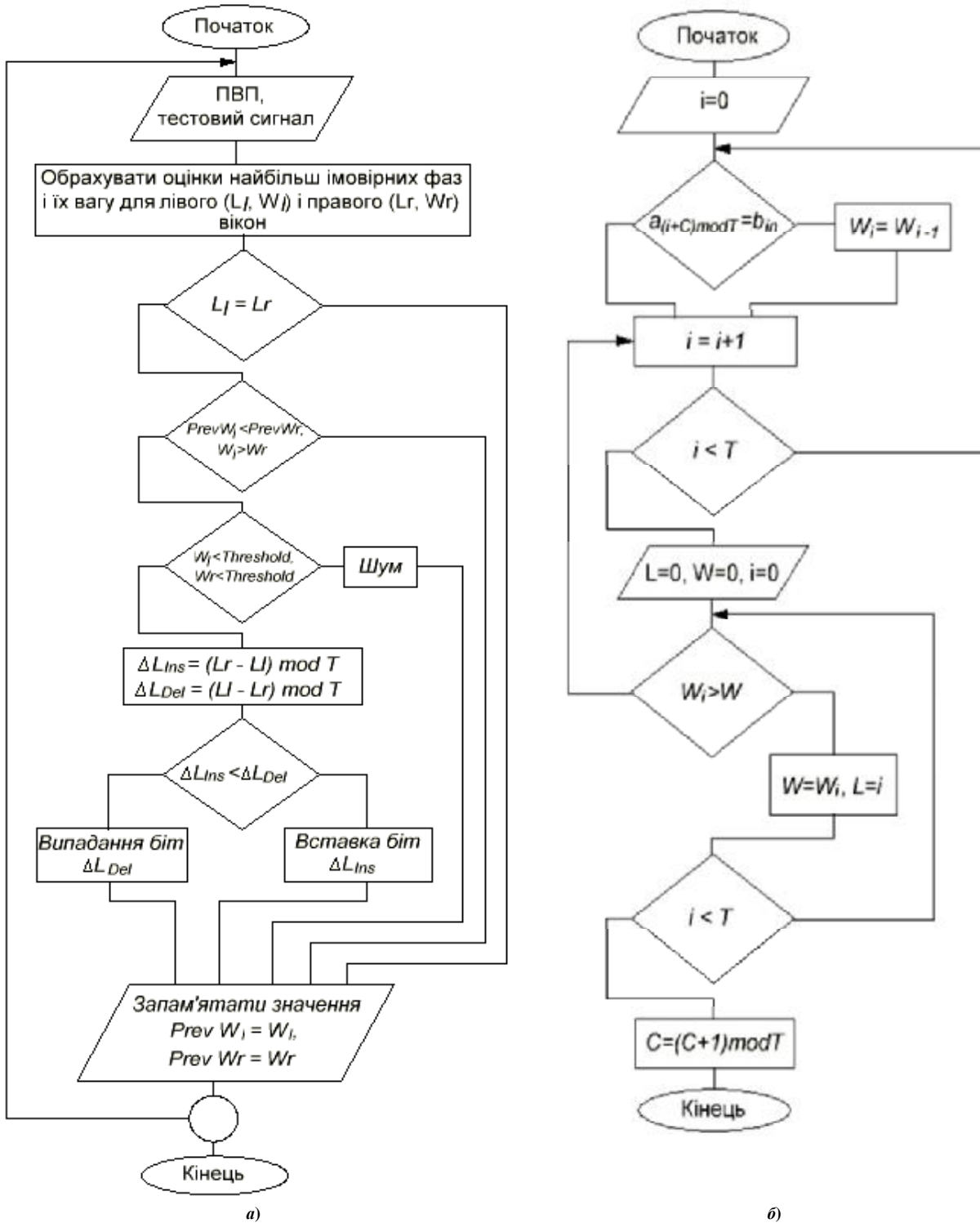


Рис. 4. Алгоритм виявлення і обчислення параметрів помилок синхронізації (а) і алгоритм, який обробляє на кожному кроці тільки вхідний і вихідний біти досліджуваного вікна (б)

Література

1. Кичак В.М. Аналіз ефективності цифрових методів модуляції/демодуляції / В.М. Кичак, В.Д Тромсюк. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Інфокомунікації – сучасність та майбутнє" (30-31 жовтня 2014 р.) Одеса. – С. 141-145.
2. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи / И.Г. Бакланов. – М.:ЭКО-ТРЕНДЗ, 1999. – 196 с.
3. Канаков В.А. Новые технологии измерения в цифровых каналах передачи информации. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации» / В.А. Канаков. – Нижний Новгород, 2006. – 91 с.
4. Любчик В.Р. Аналіз і вдосконалення методів синхронізації телекомунікаційних систем / В.Р.

Любчик, В.І. Стецюк, І.В. Файфура// Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький. – 2015. – №3. – С. 232-237.

5. Патент № 5392289 США. МПК G06F 11/00; H04L 12/00; H04L 7/00; H03M 13/00. Error rate measurement using a comparison of received and reconstructed PN sequences. / George R. Varian, Palo Alto, Calif заявлено 13.10.93; N136075; опубл. 21.02.95.

6. Sudhir Babu and K.V. Sambasiva Rao "Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes" International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). – 2011. – Volume 26. – No. 9 July.

Рецензія/Peer review : 11.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н., професор Філінюк М.А.

УДК 004.8

В.В. ГРИЦИК

Тернопільський національний університет ім. І.Пулюя

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА СПРИЙНЯТТЯ ЗОВНІШНЬОГО СВІТУ

Розробка інтелектуальної інформаційної технології доповненої реальності для осіб з обмеженими можливостями, зокрема перетворення візуальних образів у звукові і навпаки шляхом генерування єдиного поняття. Та використання в управляючому механізмі спільної бази знань, що зберігає образи понять.

Ключові слова: інтелектуальна інформаційно-аналітична система, реальний час опрацювання інформації, сприйняття зовнішнього світу, однорідні обчислювальні середовища.

V.V. HRYTSYK

Ternopil's I.Pul'j National Technical University

INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF PERCEPTION OF THE OUTSIDE WORLD

Abstract - Development of intellectual information technology augmented reality for persons with disabilities, including converting visual images into sound and vice versa by generating a single concept are presented in article. Using the technology of the unified knowledge base for operating mechanism, which stores patterns of concepts, is developed in the article.

This approach allows best use computing resources by decreasing amounts of memory usage and computational elements. The system also reduces the number of applications and can be scaled to persons with hearing impairments and good eyesight for the purpose of data base common to all the tasks. In the case of the scaling proposed approach allows (unlike others) to establish communication between persons with disabilities to vote (silent) and persons with impaired vision (blind). The automatic adaptation to the environment and adaptive search of useful objects is an important feature of developed information technology.

The limitation of the system is the assumption that it contains some breaks (gaps of silence between words) that the system considers delimited words. Such systems need boarder between useful signal and background.

The optimization capabilities of neural network models for decomposition, synthesis and presentation of the images are obtained from different spectral source is considered in this work Their integration into a single information-analytical system is considered too. In this paper, The author continued research the concept of proposed model in which the neural network one output neuron responsible for term when various spectral data, including video and audio images are applied to the input.

Key words: Intellectual information-analytic system, real time of data processing, the perception of the outside world, homogeneous computing environment.

Аналіз стану та постановка проблеми

З мільйонами камер, спостереження у світі за тим, що відбувається на міських вулицях і місцях скупчення таких, як торгові центри та транспортні вузли [1], проблема автоматичної обробки даних, моніторингу та аналізу цих відеопотоків стала епічним завданням. Реалізацію розбиття обчислень до рівня однорідних середовищ для опрацювання та розпізнавання зорових образів і мови українськими науковцями описано в [2-7].

Європейці за допомогою різних методів опрацювання звуку будують цифрові міста [8, 21,22] та все більше уваги приділяється методам дистанційного відбору інформації [9]. Відтворюючи людську поведінку в робототехніці моделюють механізми людського навчання та сприйняття при реалізації методів комп'ютерного зору [10]. Роблячи аналіз провідних ІТ-компаній світу ми побачимо, що Google, Apple та Facebook застосовують нейронні мережі для розпізнавання звуків та пошуку об'єктів [11].

У новинах ІТ-індустрії Майкрософт реалізувала бета-тест миттєвого голосового перекладу наприкінці 2014 року [12], у той час, як Гугл заявила про те, що вони планують схоже рішення у 2015 [13].

Що ж до Європейського наукового простору, то ЄС через програму FP7 профінансував розробки складних технік для розуміння аудіовізуальних відображень впродовж життя для типових і нетипових популяцій [14].

Зараз все актуальнішими [15] стають структури, що масштабно відтворюють роботу людського мозку. Зокрема на цю тематику через програму FP7 з 2007 виділено 1,9 млрд. євро на 1200 проектів із 1200-ми учасниками. Вважається, що роботизовані системи вводу, які інтегровані в тулуб з руками і ногами є найближчим майбутнім комп'ютерного зору [16]. А це потребуватиме розробки моделей і методів синтезу

різнорідних даних. Отже, актуальною проблемою розробки штучного інтелекту є розробка принципів розуміння комп'ютером зовнішнього світу через інтеграцію не однотипних даних.

Узагальнюючи огляд досліджень та впровадженнь інтелектуальних ІТ в ЄС та США перейдемо до постановки задачі.

Постановка задачі

Ціль даної роботи – розробка концепції представлення зовнішнього світу за допомогою аудіовізуального сприйняття. Практичною стороною може бути технологія доповненої реальності для осіб з вадами зору або слуху [20].

Мета даної роботи – дослідження оптимізаційних можливостей інтегрованих систем аудіовізуального сприйняття для задач штучного інтелекту. Дослідження проводиться на частковій вибірці – цифр і тексту, що відповідає актуальності [11-13].

Основна частина

Концепція розробки аудіо-візуальної системи сприйняття, на перший погляд, є досить простою. Однак, між аудіо і відеопотоками є величезна різниця – кількість даних і чинників, які потрібно враховувати для прийняття рішення.

1.1. Система розпізнавання відеообразу.

В даний час найбільше поширені «інтелектуальні» системи, що з високим ступенем точності розпізнають більшість шрифтів. Деякі системи оптичного розпізнавання тексту здатні відновлювати початкове форматування тексту, включаючи зображення, колонки та інші нетекстові компоненти (рис. 1).

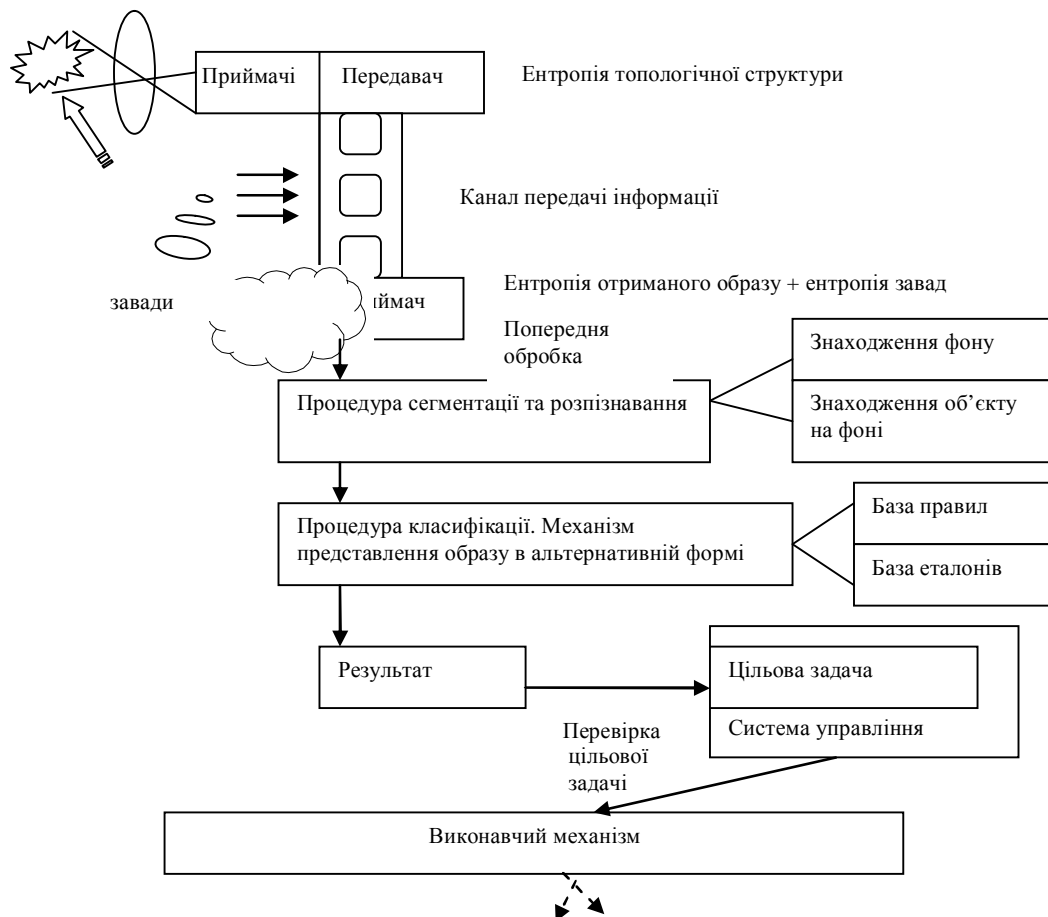


Рис. 1. Модель розпізнавання образів

Тому, перед обробкою зображення алгоритмами розпізнавання проводиться його попередня обробка, спрямована на поліпшення якості зображення. Вона включає фільтрацію зображення від шумів, підвищення різкості і контрастності зображення, вирівнювання і перетворення у використовуваний системою формат [4].

Виявлені фрагменти зображення подаються на вхід класифікатора, виходом якого є вектор можливості приналежності зображення до класу тієї чи іншої літери [5]. У запропонованому підході використовується класифікатор складовою архітектури, організований у вигляді дерева, листям якого є прості класифікатори, а внутрішні вузли відповідають операціям комбінування результатів нижніх рівнів (рис. 2).

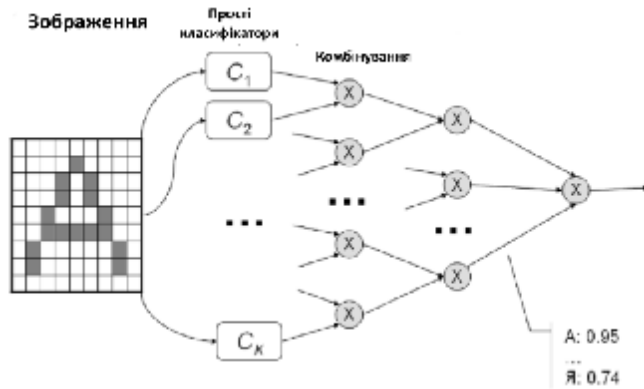


Рис. 2. Архітектура класифікатора

Таблиця 1

Рис. 3. Простий класифікатор

використовуються рівні можливості прочитання образів окремих букв.

Обробка зображення документа проводиться в три етапи: сегментація (із застосуванням операцій фільтрації і заливки), розпізнавання і орфографічна корекція [6]. Виділення цих етапів є функціональною декомпозицією і дозволяє проектувати три різних підсистеми, оптимізовані під алгоритми кожного етапу. Вироблені оцінки трудомісткості алгоритмів, що виконуються на різних етапах обробки, і надані рекомендації по машинно-залежним аспектам розробки паралельних алгоритмів.

1.2 Система розпізнавання голосу

Процес розпізнавання мови може бути розділений на дві основні фази: оцифрування і декодування. На першій фазі вхідний аудіосигнал записується і розбивається на фрагменти. На фазі декодування отримана інформація аналізується на основі використання різних моделей і алгоритмів. Алгоритми декодування можуть спиратися на зразки як цілих слів, так і окремих частин слів. Найменшою частиною слова є фонема, і будь-якій мові, зазвичай, достатньо 40-60 фонем, щоб описати вимову всіх слів.

Найбільш точними з точки зору розпізнавання є моделі, засновані на розпізнаванні слів цілком. Однак вони можуть використовуватися лише в системах зі словниками невеликого обсягу [7].

Моделі, засновані на фонемній структурі, є набагато більш універсальними і значною мірою вирішують проблему обсягу словника.

Для кращого розуміння особливостей задачі розпізнавання мови необхідно відзначити, що всі перераховані вище системи в принципі працюють однаково, використовуючи одні й ті ж методи та алгоритми. Різниця в типі диктування мови, розмірі словника тощо обумовлена лише специфікою задачі, наявними обмеженнями по швидкості обчислень і обсягом необхідної пам'яті. Спрощений процес розпізнавання може бути описаний у вигляді послідовності наступних основних кроків.

1.2.1 Шумоочистка і відділення корисного сигналу.

Методи, що застосовуються для вирішення даного завдання, можна умовно розділити на чотири групи. Методи першої групи зазвичай зводяться або до виділення деяких інваріантних щодо шуму ознак, або до навчання в умовах шумів або модифікації еталонів розпізнавання з використанням оцінки рівня шумів. Як приклад методів другої групи можна назвати коефіцієнти лінійного передбачення, кепстральні коефіцієнти.

В якості прикладу елементи еталонів в даному випадку замість чисельних значень використовують імовірнісні розподілу (середнє + дисперсія).

Третя група методів пов'язана з цифровою обробкою сигналу. До методів цієї групи можна віднести методи маскування шумів (Чисельні значення, порівнянні з характеристиками шуму, ігноруються або використовуються з меншими ваговими коефіцієнтами) та методи шумозаглушення з використанням декількох мікрофонів (очищення від низькочастотних шумів з використанням двох мікрофонів на відстані

≈50 см і високочастотних - на відстані ≈5 см).

Четверта група методів, що застосовуються для відділення корисного сигналу від сторонніх шумів зазвичай пов'язана з використанням масивів мікрофонів, моделюють спрямований мікрофон зі змінним променем напрямку (найпростіший метод «затримки і підсумовування» або більш складний з модифікацією ваг мікрофонів методом найменших квадратів – Метод Фроста, який дозволяє пригнічувати і такий тип шумів, як спотворення).

1.2.2 Перетворення вхідного мовного сигналу в набір акустичних параметрів

Зазвичай звуковий сигнал розбивають на вікна однакової довжини і перетворюють в частотну область за допомогою дискретного перетворення Фур'є або більш складного перетворення, після чого частотні параметри факторизують з метою скорочення розмірності. За фізичним змістом частотні параметри найбільш близькі до тих, які використовує людина в процесі сприйняття мови.

1.2.3 Приведення акустичної форми сигналу до внутрішнього алфавітом еталонних елементів

Область значень акустичних параметрів мовлення розбивають на області згущення, які відповідають елементам фонем, однаковим для різних слів даної мови. Зазвичай таких областей для фіксованої мови налічується близько 1000, і, якщо словник системи розпізнавання містить більшу кількість слів, з метою економії пам'яті доцільно, як еталони системи розпізнавання, розглядати не слова, а відповідні фонемні елементи. Сукупність таких еталонних елементів утворює фонетичну кодову книгу.

Зразкові значення параметрів еталонних елементів для всіх дикторів даної мови відомі заздалегідь, і завдання початкового навчання полягає в уточненні значень цих параметрів. У цьому випадку в процесі розпізнавання мови за акустичними параметрами кожному вікну сигналу визначають найближчий до цього вікна еталонний елемент.

1.2.4 Розпізнавання послідовності фонем і перетворення її до тексту слова

Після визначення ймовірної послідовності еталонних елементів у вхідному сигналі необхідно відновити по ній невідому послідовність фонем, що є транскрипцією одного із слів словника. Це завдання вирішується за допомогою динамічного програмування, коли в кожен момент часу визначається найбільш ймовірна передбачувана послідовність фонем у сигналі від початку слова до цього моменту часу. Якщо акустичні параметри перетворені в ймовірнісні з використанням кодової книги, а транскрипційні еталони слів задані у вигляді ймовірнісних автоматів, для розпізнавання зазвичай використовуються приховані ланцюги Маркова. У разі завдання еталонів слів у вигляді послідовності значень акустичних параметрів без застосування кодової книги (зазвичай для маленьких словників) застосовують іншу модель розпізнавання мови з використанням динамічного програмування, так звану динамічну деформацію часу.

На даний момент найскладнішими елементами при побудові системи розпізнавання мови є не алгоритми розпізнавання, а побудова акустичної моделі мови та початкове навчання еталонів слів словника. Як правило, для побудови достовірної моделі тієї чи іншої мови необхідне проведення багаторічної роботи зі збору та аналізу акустичних даних величезного числа носіїв цієї мови. Необхідно ретельно врахувати всі типи голосів і акцентів, і для кожної різновиди голосу і акценту отримати достовірну оцінку елементів кодової книги даної мови.

Висновки

У роботі досліджено оптимізаційні можливості неймережевої моделі для декомпозиції, синтезу та представлення образів, що отримані з різних спектральних джерел та їх інтеграції в єдиній інформаційно-аналітичній системі.

У роботі автором продовжено дослідження концепції запропонованої моделі у якій в нейронній мережі один вихідний нейрон відповідає за поняття при подачі на вхід різних спектральних даних, зокрема відео та аудіо образів. Схематично, досліджену модель аудіо-візуального сприйняття нейронною мережею можна представити рисунком 4. Аналітична складова реалізована за рахунок обробки одним обчислювальним елементом інформації, що поступає з різних джерел. За рахунок використання одного обчислювального елемента для визначення поняття з різних джерел вдалося скоротити штучну нейронну мережу вдвічі, а також потенційно підвищити її точність.

Такий підхід дає змогу оптимально використати обчислювальні ресурси завдяки зменшенню об'ємів використовуваної пам'яті та обчислювальних елементів. Забезпечуючи реалізацію єдиної БЗ для усіх потреб система також зменшує кількість звернень та може бути масштабованою на осіб з вадами слуху і хорошим зором. У випадку масштабування запропонований підхід дозволяє (на відміну від інших) встановити зв'язок між особами з вадами голосу (німими) і особами з вадами зору (сліпим). Оскільки дозволяє (елемент навчання) навчити поняття і передавати його у довільному спектрі не змінюючи БЗ.

Дискретизація проводилася з частотою 44100 значень на секунду.

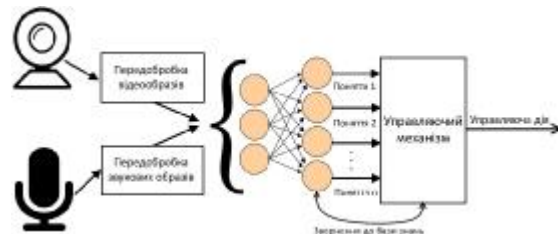


Рис. 4. Модель аудіо-візуального сприйняття

Важливою особливістю розробленої інформаційної технології є автоматичне пристосування до оточуючого середовища і адаптивний пошук корисних об'єктів. Обмеженнями системи є припущення, що мова містить у собі деякі паузи (проміжки тиші між словами), які система вважає роздільниками слів. Для таких систем для виділення корисного сигналу потрібен деякий поріг – значення вище якого є корисним сигналом, нижче – фоном.

У роботі розглянуто кілька варіантів:

- задання константою (є кілька варіантів задання порогу: метод експертних оцінок, метод пристосування);
- аналіз ентропії (ентропія – це міра невизначеності сили перепаду сигналу в рамках заданого фрейму).

Для того, щоб підрахувати ентропію конкретного фрейму, виконуються наступні дії:

- нормуємо сигнал так, щоб всі його значення лягли в діапазоні від -1 до 1;
- будуємо гістограму значень сигналу фрейму;
- розраховуємо ентропію за формулою 1:

$$E = \sum_{i=0}^{N-1} P[i] * \log_2(P[i]) \quad (1)$$

Маючи значення ентропії фрейму для відокремлення корисного сигналу від фону порівнюємо біжуче значення ентропії фрейму з середнім між максимальним і мінімальним значенням ентропії серед усіх фреймів. Оскільки ентропія величина відносно самостійна, то це дає змогу підібрати значення її порогу у вигляді константи.

Ентропія може просідати по середині слова (на голосних), а може раптово зростати через невеликий шум. Для того, щоб вирішувати першу проблему вводиться поняття «мінімальної відстані між словами» та виконується об'єднання сусідніх наборів фреймів, що розділені просіданням. Друга проблема вирішується використанням «мінімальної довжини слова» і відсіканням усіх кандидатів, які не пройшли відбір.

При роботі з фреймами, оптимальною довжиною одного фрейма є 10 мс, накладання 50% (при розбитті вхідних даних по невеликих часових проміжках – фреймах – вони повинні йти не строго одним за одним, а накладатися) і з урахуванням того, що середня довжина слова становить 500 мс – такий крок дає приблизно 100 фреймів на слово:

$$500 / (10 * 0.5) = 100.$$

Література

1. Software: running commentary for smarter surveillance?. – research*eu results supplement. - №24. – May 2010. – 29-30p.
2. Шупкина О.В. Модифицированная вероятностная нейронная сеть с комбинированным обучением в задачах обработки текстовой информации / О.В. Шупкина, С.В. Бодянский // Материалы конференции - ISCDMCI'2012. –С. 433 – 435.
3. Параллельная обработка информации: в 5 т. Т.2. Параллельные методы и средства распознавания образов / Под. Ред. А.Н. Свенсона. – Киев: Наукова думка, 1985. – 280 с.
4. Путятин Е.П. Обработка изображений в робототехнике / Путятин Е.П., Аверин С.И. – М.: Машиностроение, 1990. –320с.
5. Методы корреляционного обнаружения объектов / Путятин Е.П., А.В. Гиренко, В.В. Ляшенко, В.П. Машталир, В.Д. Рыжиков. – Харьков: Изд-во АО «Бизнес-Информ», 1996. – 111 с.
6. Путятин Е. П. Методы та алгоритми комп'ютерного зору: навч. посібник / Е.П. Путятин, В.О. Гороховський, О.О. Матат. – Х: СМІТ, 2006. 236 с.
7. Putyatın E., Matat E. Information systems technology. Image processing and pattern recognition. Kharkiv National University of Radio Electronics. Kharkiv, 2003. 105 p.
8. Using sound to picture the world in a new way // Research*eu Results Magazine, №38 - December 2014 p. 34.
9. Tacticledis plays of the future to feel information // Research*eu Results Magazine, №38 - December 2014 p. 36.
10. A glimpse into the future of robotic technology// Research*eu Results Magazine, №28 - December 2013 p. 33.
11. Geoffrey Hinton, Li Deng. Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition. URL: <http://research.google.com/pubs/pub38131.html> (Дата звернення 23.03.2015)
12. Gurdeep Pall. Skype Translator Preview – An Exciting Journey to a New Chapter in Communication // Skype blog. URL: <http://blogs.skype.com/2014/12/15/skype-translator-preview-an-exciting-journey-to-a-new-chapter-in-communication/> (Дата звернення 22.03.2015)
13. Quentin Hardy. Language Translation Tech Startsto Deliver on Its Promise // NYT imes Bitsblog. URL: http://bits.blogs.nytimes.com/2015/01/11/language-translation-tech-starting-to-deliver-on-its-promise/?_r=0 (Дата звернення 22.03.2015).
14. "EU study tackles vision-mapping language" // Research*euResultsMagazine, №19 – February 2013 p.

15. From electronic brains to artificial vision // research*eu results magazine. - №30. - March 2014. - p.25-26.
16. A project applies neuro science to robot vision. – research*eu results magazine. - №6. – October 2011. – 9p.
17. Audio-visual answer to modern computing. – research*eu result supplement. - №26. – July/August 2010. – 31-32p.
18. Kunanets N. Digital Libraries for Disabled Persons / V. Pasichnyk, N. Kunanets, O. Malynovskyi // Intelligent data acquisition and advanced computing systems (IDAACS) : proceedings of the 2013 IEEE 7th International conference, September 12-14, 2013, Berlin, Germany. - Ternopil, 2013. – Vol. 1. – P. 212–215. (каф. НДР). – Berlin, 2013. – P. 241-261. (SCOPUS)
19. Грицик В.В. Модель аудіо-візуального сприйняття. – Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence / В.В. Грицик, А.З. Грондзаль. – МК ISDMCI'2015. – Kherson: KNTU. – 2015. – 51-53p.
20. Volodymyr Hrytsyk, Andrii Grondzal, Andriy Bilenyk. Augmented reality for people with disabilities. – IEEE: Computer science and information technologies. – 14-17 September 2015. – Lviv. – 188-191p.
21. Bucki R., Information Linguistic Systems, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, USA, 2007, p. 102, ISBN 9780978860646.
22. Bucki R., Thorough Analysis of the Technological Case Control, Management & Informatics, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, Volume 1, No. 1, 2007, pp. 68-112, ISSN 1939-4187.

Рецензія/Peer review : 8.9.2015 р. Надрукована/Printed :3.11.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.382

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА

Вінницький торговельно-економічний інститут
Київського національного торговельно-економічного університету

КЛАСИФІКАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ НА УЗАГАЛЬНЕНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ІМІТАНСУ

Розглянута класифікація інформаційних пристроїв комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем, які будуються на основі однокристальних багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу, надана їх характеристика.

Ключові слова: інформаційна система, інформаційний пристрій, узагальнений перетворювач імітансу, імітансні логічні елементи, оптоімітансні логічні елементи, радіочастотні датчики, частотно-вибіркові пристрої, напіпровідникові множувачі індуктивності.

L.B. LISHCHYNSKA

Vinnitsa Trade and Economic Institute of Kyiv National Trade and Economic University

CLASSIFICATION OF INFORMATIVE DEVICES BASED ON GENERALIZED CONVERTER IMMITANCE

Abstract - Classification of informative devices of computer and information systems which is built on the basis of the one-chip multi-parameters generalized immitance were considered, their description is given.

The conducted researches had showed wide functional possibilities of one-chip multi-parameters generalized immitance, perspective of their application at the construction of the radio frequency informative systems.

This classification had showed possibility of realization of high-efficiency managers of elements, frequency selective built on, radio frequency sensors, semiconductor multipliers of inductance, radio frequency, immitance and opto-immitance logical elements.

Key words: information system, information device, generalized immitance converter, radio frequency sensors, semiconductor multipliers of inductance, radio frequency, immitance and opto-immitance logical elements.

Постановка проблеми

Прогрес розвитку сучасного суспільства у значній мірі визначається успіхами у розвитку обчислювальної техніки, основою побудови якої є кодування та обробка інформації відеоімпульсними сигналами. Такі обчислювальні системи мають низку суттєвих переваг, зокрема високу надійність і швидкодію, відносно невисоку вартість тощо. Але основою глобальних інформаційних систем є радіочастотні канали зв'язку, об'єднання яких з відеоімпульсними системами здійснюється шляхом використання прийнятно-передавальної апаратури, аналогово-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів, це може привести до часткової втрати інформації і погіршення швидкодії таких систем, що є особливо актуальним при створенні інформаційних систем передачі, прийому та обробки інформації щодо рухливих об'єктів спеціального призначення.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є використання інформаційних систем, побудованих на сучасних інформаційних пристроях, що здійснюють безпосередню обробку сигналів на носійній частоті. Використання таких інформаційних систем і пристроїв дозволяє підвищити завадостійкість систем передачі та обробки інформації, значно знизити необхідний енергетичний рівень інформаційного сигналу, зменшити

апаратурні витрати, виключити необхідність передачі інформаційних потоків з низькочастотними складовими частотного спектру.

Аналіз досліджень і публікацій

Технічні системи, які призначені для отримання, перетворення, передачі, накопичення, відображення і зберігання інформації, що надходить від об'єкта спостереження і керування, називаються інформаційними системами, зокрема: автоматизовані системи контролю і керування, системи електронно-обчислювальної та інформаційно-вимірювальної техніки, системи зв'язку, телемеханічні, навігаційні і телевізійні системи тощо.

Будь-яка інформаційна система складається з окремих простих інформаційних пристроїв (ІП), що призначені для реалізації інформаційних процесів малої складності [1]. Інформаційні пристрої, алгоритм функціонування яких не залежить від алгоритму функціонування інформаційної системи, призначені для перетворення повідомлень у сигнал і навпаки, а також для зміни фізичної природи або параметрів сигналу, називаються інформаційними пристроями перетворення (ІПП). Ще один напрямок використання радіочастотних сигналів почав розвиватися у зв'язку з необхідністю введення вимірювальної інформації безпосередньо в цифрові обчислювальні машини. Ця задача була вирішена за рахунок використання АЦП. Але, хоча на цьому шляху досягнуті вже значні успіхи, подібні системи завжди будуть мати обмеження, пов'язані з тим, що отримання інформації і перетворення її в АЦП здійснюється з похибкою, яка може бути знижена тільки за рахунок значного ускладнення та подорожчання апаратури.

Одним з напрямків подолання цих складностей є використання радіочастотних датчиків (РЧД) [2], які поєднують простоту та універсальність, що властиві аналоговим пристроям, з точністю і завадостійкістю, які характерні для датчиків з кодовим виходом. Подальше перетворення частотно-модульованого сигналу зводиться, в основному, до підрахунку періодів сигналу протягом визначеного часу операції, що за простотою і точністю має перевагу над всіма іншими методами аналогово-цифрового перетворення. Розгляд тільки цих двох напрямків розвитку інформаційної техніки вказує на перспективність подальшого удосконалення технічних засобів побудови радіочастотних інформаційних систем отримання та обробки інформації. Ефективність таких систем визначають елементи, що її утворюють – інформаційні пристрої, наприклад, кодування і комутування інформаційних потоків, частотну вибірковість, перетворення неелектричних сигналів в електричні, логічні операції на носійній частоті тощо.

Мета дослідження

Метою роботи є класифікація інформаційних пристроїв комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем на основі однокристальних багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу, їх характеристика та аналіз специфічних особливостей, що забезпечує розробникам інформаційних пристроїв і систем більш ефективно їх застосування.

Викладення основного матеріалу

У галузі побудови інформаційних пристроїв сформувалося два основних напрямки. Один з них пов'язаний з використанням нелінійних властивостей електронних і напівпровідникових приладів, які, як правило, працюють у режимі «великого» сигналу [3]. Другий напрямок базується на використанні для реалізації ІП напівпровідникових приладів, які працюють у малосигнальному режимі, коли можна знехтувати залежністю його параметрів від потужності самого сигналу [4]. В основі побудови таких пристроїв лежить використання внутрішнього зворотного зв'язку, що забезпечує перетворення імітансу навантаження у вхідний імітанс та імітансу генератора у вихідний імітанс за необхідним законом. Пристрої отримали найменування «узагальнені перетворювачі імітансу» (УПІ) і є основою побудови активних УВЧ і НВЧ фільтрів, комутаторів і вимикачів, фазообертачів, перетворювачів частоти, радіочастотних датчиків тощо.

Такі УПІ можуть бути як однопараметричними, так і багатопараметричними. Основи теорії однопараметричних УПІ і принципи побудови ІП на їх базі узагальнені у роботі [5]. Розглядаючи багатопараметричні УПІ як найбільш загальний випадок однопараметричних УПІ, в [6] розроблено фундамент теорії таких перетворювачів, які покладені в основу побудови радіочастотних інформаційних пристроїв на основі багатопараметричних однокристальних УПІ_N [7, 8], їх використання дозволяє розширити функціональні можливості узагальнених перетворювачів імітансу, реалізуються на однокристальних багатоелектродних напівпровідникових структурах, здатних працювати до частот (100–200) ГГц, в яких використовуються відомі переваги однокристальних інформаційних пристроїв, що набули широкого розвитку у цифровій техніці.

Властивість УПІ_N перетворювати характер і значення низки імітансів у вихідний імітанс у широкому діапазоні частот від сотень кГц до сотень ГГц, яка здійснюється з використанням лише одного напівпровідникового кристала, визначила перспективу їх використання при розробці широкого класу інформаційних пристроїв.

Враховуючи, що у загальному випадку УПІ_N може бути як пасивним, так і активним, ІП на його основі також можуть бути пасивними та активними. Найбільш ефективними є ІП, які реалізуються на активних УПІ_N. Загальна класифікація інформаційних пристроїв на основі УПІ_N наведена на рисунку 1.

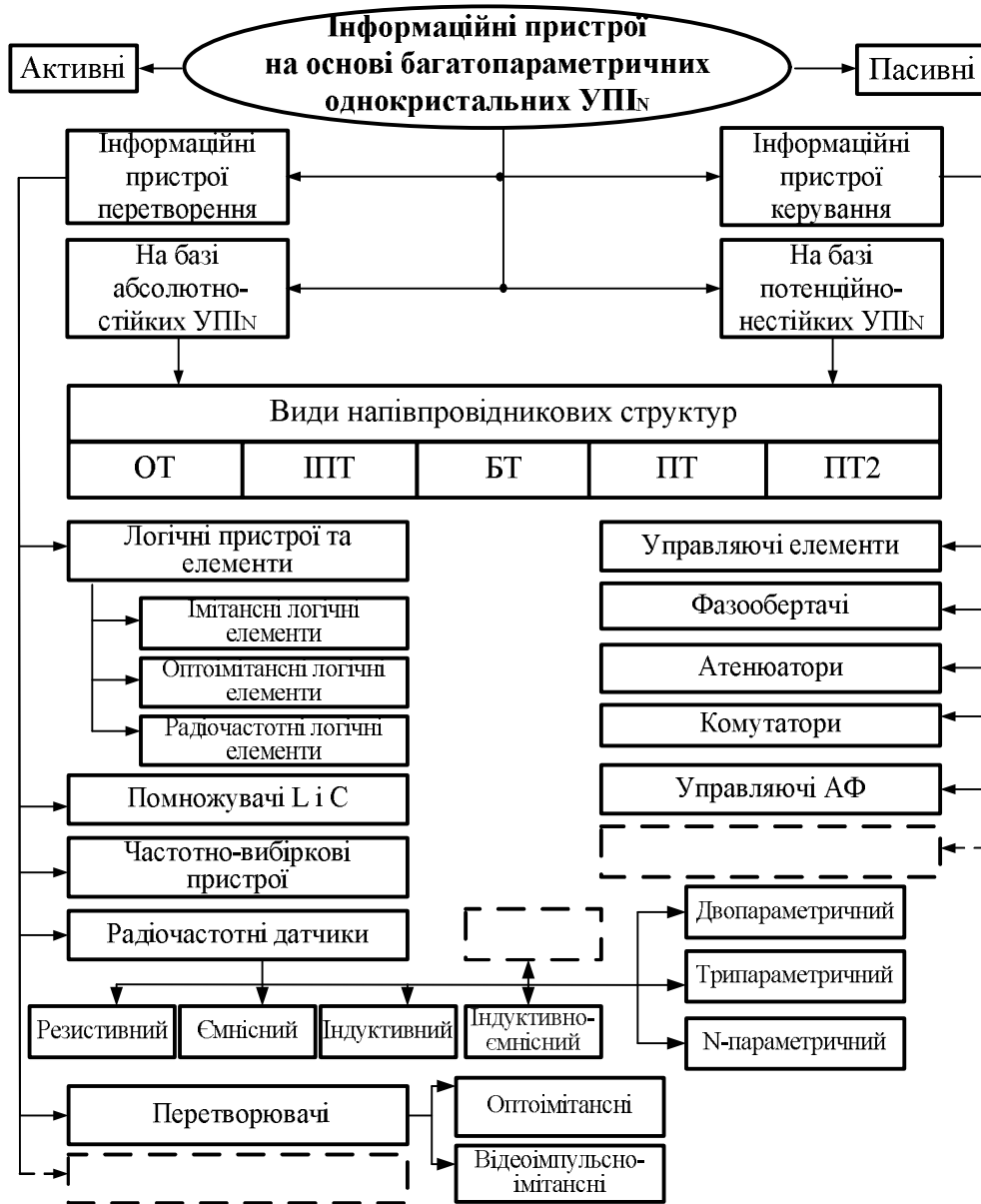


Рис. 1. Класифікація інформаційних пристроїв на основі УП_n

В залежності від фізичних параметрів і режиму роботи напівпровідникової структури, а також діапазону частот, УП_n можуть бути абсолютно стійкими, що обмежує їх функціональні можливості, але забезпечує отримання деяких більш високих параметрів, а також можуть бути потенційно нестійкими, що розширює їх потенційні можливості.

При реалізації УП_n можуть бути використані різноманітні багатоелектродні напівпровідникові структури. У теперішній час найбільш досліджені УП_n на основі одноперехідної (ОТ), інжекційно-пролітної (ШТ), біполярної (БТ) і польової (ПТ) трьохелектродних транзисторних структур, а також на основі чотирьохелектродної польової транзисторної структури (ПТ2).

Сучасні досягнення схемотехніки і мікроелектроніки дозволяють передбачити перспективність реалізації однокристальних УП_n на основі більш складних напівпровідникових структур.

У теперішній час найбільш широке застосування вони знаходять при реалізації частотно-вибіркових пристроїв (ЧВП), логічних пристроїв (ЛП) та логічних елементів (ЛЕ), зокрема імітансних та оптоімітансних логічних елементів [8], напівпровідникових помножувачів індуктивності (НПІ), радіочастотних датчиків (РЧД), управляючих елементів (УЕ) тощо. Загальною перевагою таких ПП, порівняно з аналогами, є: більш високі технічні характеристики (швидкодія, частотна вибірковість, економічність тощо); технологічність, яка пов'язана з можливістю виготовлення у вигляді гібридних і напівпровідникових мікросхем; розширені функціональні можливості. Для побудови інформаційних пристроїв і систем на основі однокристальних багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу розроблені методи синтезу інформаційних пристроїв на базі багатопараметричних УП_n, в основу яких покладена концепція «нечіткого імітансу» [9] і таблиці перетворення імітансу багатопараметричних УП_n.

Висновки

1. Проведені дослідження показали широкі функціональні можливості однокристальних багатопараметричних УПП_N, перспективність їх застосування при побудові радіочастотних інформаційних систем.

2. Показана можливість розробки низки інформаційних пристроїв на базі багатопараметричних УПП_N, які мають, порівняно з аналогами, вищі: завадостійкість, швидкодію, чутливість, частотну вибірковість, крутизну управління і технологічність.

3. Проведена класифікація сучасних інформаційних пристроїв на УПП_N, яка показала можливість реалізації на їх основі вискоелективних управляючих елементів, частотно-вибіркових пристроїв, радіочастотних датчиків, напівпровідникових помножувачів індуктивності, радіочастотних, імітансних та оптоімітансних логічних елементів, а також оптоімітансних і відеоімпульсно-імітансних перетворювачів.

Література

1. Філінюк М. А. Аналіз і синтез інформаційних пристроїв на базі потенційно-нестійких узагальнених перетворювачів імітансу / М. А. Філінюк. – Вінниця : ВДТУ, 1998. – 85 с.

2. Ліщинська Л. Б. Радіочастотні датчики дистанційного контролю стану об'єкта / Л. Б. Ліщинська // *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. – 2010. – Vol.1(7), № 4. – С. 27–36.

3. Кичак В. М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки : монографія / В. М. Кичак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 266 с.

4. Філінюк М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шоттки : монографія / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 274 с.

5. Філінюк М. А. Основи негatronіки : Т. 1. Теоретичні і фізичні основи негatronіки : монографія / М. А. Філінюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2006. – 456 с.

6. Ліщинська Л. Б. Багатопараметричні узагальнені перетворювачі імітансу на основі однокристальних напівпровідникових структур : монографія / Л. Б. Ліщинська. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 244 с.

7. Ліщинська Л. Б. Інформаційні пристрої на основі багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу : монографія / Л. Б. Ліщинська. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 219 с.

8. Ліщинська Л. Б. Інформаційні пристрої і системи на узагальнених перетворювачах імітансу / Л. Б. Ліщинська // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2015. – №4(226). – С.132–134.

9. Лищинская Л. Б. Обоснование концепции «нечёткого иммитанса» / Л. Б. Лищинская // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2010. – № 1. – С. 20–25.

Рецензія/Peer review : 30.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 2.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Веселовська Н.Р.

I.P. ПАРХОМЕЙ
 Державний університет телекомунікацій
 Ю. М. БОЙКО
 Хмельницький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЛОКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ З НИЗЬКОЮ ПОВЕРХНЕЮ ВІДДЕРКАЛЕННЯ

Проведена розробка методів радіолокації повітряних об'єктів зі штучно зниженою ефективною площею віддзеркалення, застосування яких дозволяє підвищити ефективність функціонування РЛС, які засновані на фізичному принципі отримання радіолокаційної інформації про повітряний об'єкт за рахунок резонансного збудження внутрішньої структури радіопоглинаючого покриття літального апарата під час опромінення НВЧ електромагнітним полем. Розглянуто методи, які можуть бути реалізовані на етапах виявлення і супроводження РЛС сучасних радіолокаційних об'єктів. Розроблені методи, які на відміну від існуючих, базуються на використанні можливості збудження радіопоглинаючих матеріалів за рахунок резонансної частотно-фазової взаємодії кристалічної структури з НВЧ сигналом опромінення з метою підвищення ефективності радіолокації радіолокаційних об'єктів зі штучно зниженою ЕПВ. Запропоновані методи виявлення і супроводження РЛС сучасних радіолокаційних об'єктів. Розроблені рекомендації щодо удосконалення основних систем РЛС.

Ключові слова: ефективна площа віддзеркалення, резонансне збудження кристалічної структури, радіопоглинаюче покриття

I.R. PARHOMEY
 State University of Telecommunications
 J.M. BOIKO
 Khmelnytskyi National University

FEATURES OF OBJECTS RADAR SYSTEMS RANGING FROM LOW REFLECTION SURFACE

Abstract - The relevance of the study due to the following reasons: dynamic development of aviation technology, the widespread introduction of the leading countries - producers of aircraft technology artificial reduction, increase the proportion of aircraft with artificially low coming into operation recently reduced capabilities of existing radar on such aircraft, lack of implementation of the potential of radar during the detection and tracking of air targets with artificially low guidance. Situation prompted the objective contradiction in the practice of radar on aircraft ranging from artificially low. The thesis is dedicated to development of the methods radiolocations air integer with artificially reduced by efficient area of the reflection. The designed methods, in change from existing, are based on use the possibility of excitation radio material to account resonance frequency-phase interaction of the crystalline structure with over radio-frequency signal of the irradiation for increasing of efficiency radiolocations air integer with artificially reduced by efficient area of the diffusing. The offered methods can be marketed on stage of the finding and accompaniments radar station modern air integer. For these purpose recommendations is designed for improvements of the main systems radar station.

Keywords: efficient area of the reflection, resonance excitation of the crystalline structure, radio covering.

Вступ

Високе кутове розділення може бути реалізоване шляхом синтезу апертури антени при русі передавальної і (або) приймальної позиції, а також при переміщенні і (або) обертанні об'єкта моніторингу [1]. При цьому число радіолокаційних позицій і їх взаємне переміщення щодо об'єкта вибирається виходячи з необхідності вирішення визначеної задачі. В сучасних радіолокаційних системах з синтезуванням апертури антени (РСА) використовується однопозиційна система (сполучена приймально-передавальна антена) при прямолінійній траєкторії носія РСА при телескопічному огляді. Така будова забезпечує необхідну (високу) роздільну здатність за азимутом у всій зоні огляду, крім переднього сектора. Передній сектор огляду ($\pm 10^\circ$ щодо вектора шляхової швидкості) має важливе значення при розв'язанні багатьох завдань: розвідки, десантування, посадки і т.п. При прямолінійній траєкторії носія РСА зі сполученою антеною розділення за кутовою координатою δl визначається кутовим розміром апертури при бічному огляді $\beta_0 = X_C / R_H$ і кутом спостереження θ_H (рис.1):

$$\delta l = \frac{\lambda R_H}{2 X_C \sin \theta_H}. \quad (1)$$

Дискретизація може бути рівномірною, якщо крок дискретизації рівномірний, і нерівномірною. Нерівномірна дискретизація буває адаптивною, програмною або випадковою. При адаптивній дискретизації крок дискретизації вибирають залежно від характеру зміни сигналу в розглянутий проміжок часу, а програмна дискретизація проводиться за заздалегідь установленою програмою роботи.

Однак, при огляді в передньому секторі ($\theta_H \rightarrow 0$) розділення за кутовою координатою різко падає. Так, при куті $\theta_H = 6^\circ$ розділення за синтезованою апертурою (СА) в 10 раз гірше, ніж при бічному огляді. Таким чином, в передньому секторі огляду розділення СА звичайно того ж порядку, що і розділення реальної антени. Наприклад, при $\theta_H = 0^\circ$ розділення за кутом дорівнює:

$$\delta\theta_c = 1,3\sqrt{\frac{l}{X_c}} = 1,3\sqrt{2\theta_{CO}} = 1,8\sqrt{\frac{\theta_0}{K_{3T}}}, \quad (2)$$

де $\theta_{CO} = \lambda/2X_c$ - ширина синтезованої діаграми спрямованості (ДС) при бічному огляді; $K_{3T} = \theta_0/\theta_{CO}$ - коефіцієнт стиску ДС у результаті синтезування при бічному огляді.

Як випливає з даної залежності, розділення за кутом в передньому секторі огляду $\delta\theta_c$ стає рівним ширині реальної ДС θ_0 при $K_{3T} = 3,4/\theta_0$. Так, при $\theta_0 = 3,4 \cdot 10^{-2}$ рад (2°) синтезування апертури в передньому секторі огляду не дає виграшу в розділенні в порівнянні з реальною антеною при $K_{3T} < 100$.

Для отримання високого розділення в передньому секторі огляду доцільно використовувати багатопозиційні РСА (рис.2).

Процес отримання та обробки інформації в даних системах можна представити структурною схемою, що наведена в [1-10].

В схемах під багатоелементним передавачем і приймачем розуміється сукупність всіх передавальних і приймальних пристроїв системи радіобачення (СРБ). Управління вибором передавальної РЛС і тривалістю її роботи на випромінювання здійснюється з пункту збору та обробки радіолокаційної інформації (ПЗОРЛІ) радіокомандами управління $U(i, t_{налі,к})$.

На схемі позначено: $N_0(t, D)$ - локальне джерело шуму (завад), що розташоване в точці D; SD - корисний сигнал, що несе інформацію про об'єкт моніторингу; SI - сигнали і шуми (завади); N_{cp} - шум середовища (шумове поле навколо передавача і приймачів, яке безперервне в часі і у просторі); N_p - завади, породжувані сигналом; N_c - власні шуми системи; $\{u\}$ - множина типів сигналів РТС ДЗЗ БПП РЛІ; $\{f_u\}$ - множина носійних частот (літерів); $S^0(t)$ - зондувальний сигнал; $V_m(t) = S_m(t) + N(t)$ - сигнал, прийнятий m -ю приймальною РЛС; $S_m(t)(N(t))$ - корисний сигнал (завади) на вході каналу обробки m -ї РЛС; v - множина прийнятих рішень.

Керування позиціями (траєкторіями руху передавальних і (або) приймальних пунктів) оптимізується виходячи з одержання необхідної роздільної здатності в заданому секторі огляду.

При багатопозиційному режимі РСА можливе використання одночасно багатьох систем, що працюють тільки в режимі приймання, при одній передавальній позиції, яка опромінює задану зону моніторингу. Відсутність випромінювання в таких приймальних позиціях РСА підвищує скритність їх роботи. При цьому значно знижується маса і енергоспоживання приймальних позицій. Однак одночасно підвищуються вимоги до потужності випромінювання передавальної позиції, так як вона перебуває на значному віддаленні. Більша висота польоту передавальної позиції забезпечує зменшення радіолокаційних тіней.

У якості носіїв передавальної позиції можуть використовуватися як авіаційні, так і космічні апарати, а приймальні позиції можуть бути навіть нерухомими (наземні і морські станції, аеростати і т. п.). Основною проблемою в даному випадку є забезпечення синхронізації приймальних позицій з передавальною за носійною частотою, частотою повторення імпульсів і положенням зони моніторингу. Саме вирішенню зазначеної актуальної проблеми присвячена стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та розробка питання синтезу систем радіобачення багатопозиційного функціонування

Як відомо з [1, 2], найпростішим варіантом багатопозиційної РСА, що забезпечують високе кутове розділення у передній зоні огляду, є напівактивна РСА, у якій передавальна та приймальна позиції рознесені і рухаються за різними траєкторіями.

Прийомна позиція перебуває в промені передавальної антени, а синхронізація сигналів забезпечується за рахунок приймання випромінювання передавача спеціальним приймачем. Якщо передавальна позиція ПРД рухається за прямолінійною траєкторією зі швидкістю V (рис.2), забезпечуючи опромінення зони огляду в бічному напрямку в межах ширини ДС антени θ_0 , то кожний i -й елемент зони огляду за кутом опромінюється електромагнітною хвилею зі своєї доплерівської частотою:

$$f_{ди} = \frac{V}{\lambda} \theta_i, \quad (3)$$

причому в межах ширини ДС передавальної антени здійснюється частотне «підфарбовування» кожного

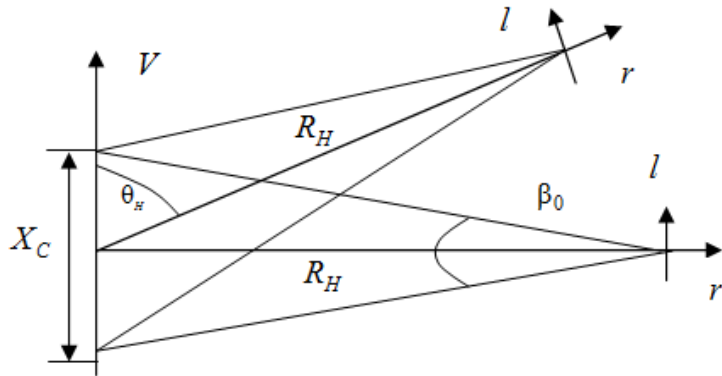


Рис. 1. Система координат при сполученій приймально-передавальній антені

напрямку θ_i у межах зони огляду. В цьому випадку, навіть при нерухомій приймальній позиції ПРМ ($V_{II} = 0$) досягається кутове розділення яке визначається з виразу:

$$\delta l = \frac{\lambda}{\beta_0}, \tag{4}$$

де $\beta_0 = VT_c / R_H$ - кутовий розмір синтезованої апертури.

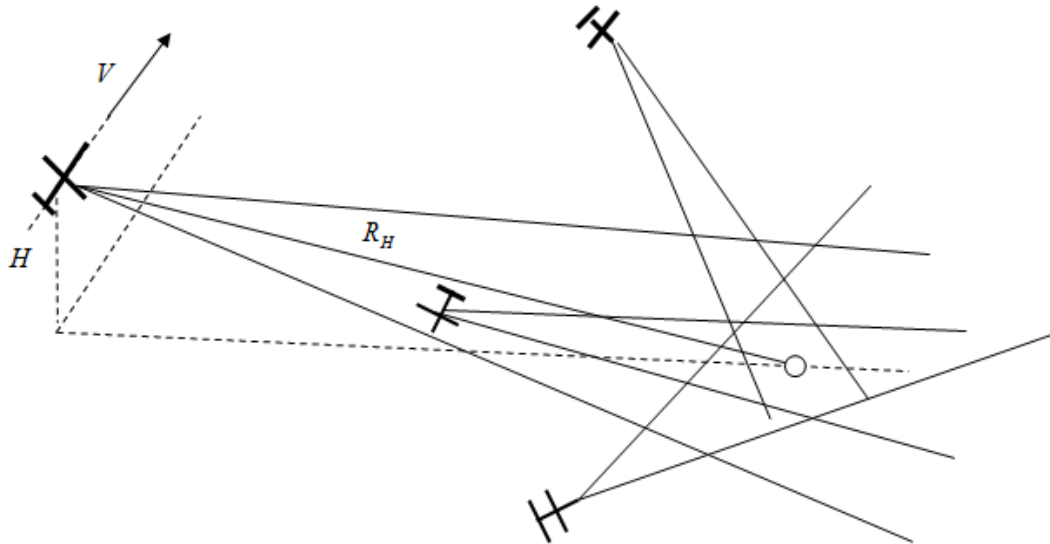


Рис. 2. Режим багатопозиційного функціонування системи радіобачення

При цьому розділення у передній зоні огляду зменшується у два рази в порівнянні з розділенням при бічному огляді в однопозиційній РСА зі сполученою приймально-передавальною апертурою.

За аналогією з відомими системами напівактивного наведення, метод синтезування апертури за рахунок руху передавальної позиції при русі приймальної позиції на об'єкт спостереження також може бути поданий як метод з напівактивним синтезом апертури. У більш загальному випадку, траєкторії переміщення ПРД і ПРМ щодо зони огляду можуть бути найрізноманітнішими та визначаються розв'язуванням завданням.

Таким чином, у випадку напівактивного синтезу апертури використовуються рознесені позиції, які крім того рухаються за N - різними траєкторіями по схемі: передавальна та N - приймальних. Структурна схема напівактивної РСА представлена на рис.3.

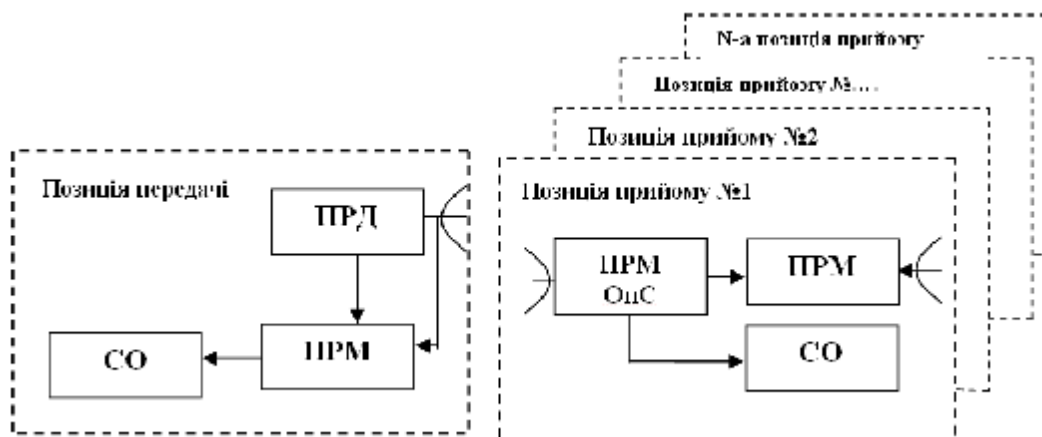


Рис. 3. Структурна схема напівактивної РСА з N -ю кількістю приймальних позицій радіолокаційної інформації: СО – система обробки; ПРД – передавач; ПРМ – приймач; ПРМОпС – активна однопозиційна РСА приймача

Передавальна позиція звичайно містить свою приймальну частину і систему обробки (СО) та є активною однопозиційною РСА цілевказання і підсвітлювання для приймальної позиції. За допомогою ДС передавальної антени РСА підсвітлює заданий район розташування об'єктів (зону моніторингу). Одночасно передавальна позиція, приймаючи відбиті сигнали, одержує за допомогою своєї системи обробки зображення об'єктів і формує сигнали цілевказання для ПРМ позиції. Пасивна приймальна позиція за сигналами цілевказання переміщується в район розташування об'єктів і, приймаючи від об'єктів зондувальні сигнали передавальної позиції, формує зображення об'єктів.

Кожна приймальна позиція має два канали. Основний канал забезпечує приймання відбитих від

об'єктів сигналів. Додатковий канал (синхронізації) приймає зондувальні сигнали передавальної позиції для формування опорного сигналу приймача основного каналу. Система обробки забезпечує одержання зображення об'єктів з високою роздільною здатністю в зоні огляду приймальної позиції.

Для забезпечення розділення за дальністю використовується розділення відбитих сигналів за їх затримкою на трасі $R_H + R_{\Pi}$ (рис.4).

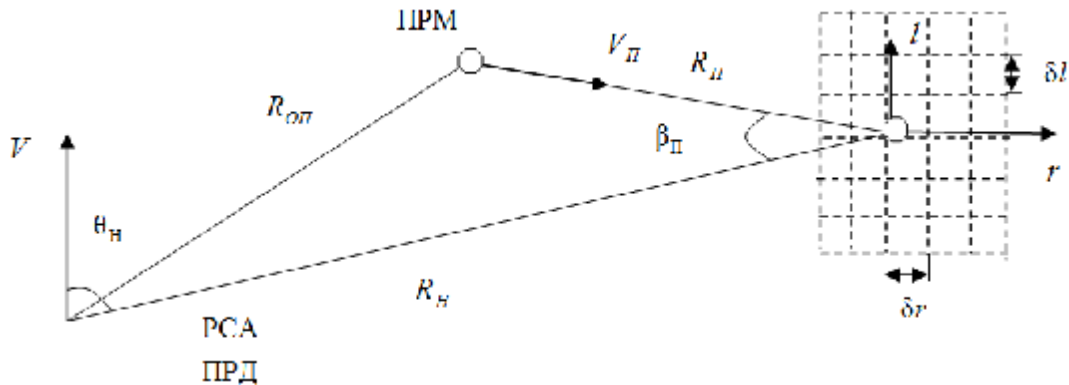


Рис. 4. Формування радіолокаційних зображень при напівактивній PCA

На рисунку R_{Π} - відстань від об'єкта моніторингу до ПРМ. Лінії постійної затримки (ізодалі) $R_H + R_{\Pi}$ являють собою еліпси. Для розділення за азимутом використовується доплерівська селекція сигналів; при цьому лінії постійної доплерівської частоти (ізодопи) перпендикулярні дотичним до еліпсів ізодалей.

Формалізація процесу формування радіолокаційного зображення в напівактивній PCA при довільному русі приймальної та передавальної позицій

Розглянемо функцію невизначеності (ФН) за азимутом напівактивної PCA при роботі з нерухомими об'єктами. ФН за кутовою координатою l має вигляд:

$$J(l) = \int_{-T_c/2}^{T_c/2} W(t) \exp\{j j_u(t, l)\} \exp\{-j j_u(t, 0)\} dt, \tag{5}$$

де $W(t)$ - вагова функція обробки; $j_u(t, l)$ - фазова функція траєкторного сигналу приймальної позиції залежно від азимутального положення об'єкта l .

Для спрощення запису ФН без обмеження спільності висновків розглянемо випадок, коли в момент $t = 0$ кут $\beta_{\Pi} \approx 0$, тобто ПРД, ПРМ і об'єкти спостереження перебувають приблизно на одній прямій лінії. Вважаємо також, що підсвітлювання здійснюється з дальності $R_H \gg R_{\Pi}$. Тоді поточні дальності можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} r_H &= R_H - Vt \cos \theta_H + \frac{V^2 t^2}{2R_H} \sin^2 \theta_H, \\ r_{\Pi} &= R_H - Vt, \\ r_{0\Pi} &= R_{0\Pi} + V_{\Pi} t - Vt \cos \theta_H + \frac{V^2 t^2}{2R_{0\Pi}} \sin^2 \theta_H. \end{aligned} \tag{6}$$

Фаза траєкторного сигналу визначається: відстанню r_H , яку проходить зондувальний сигнал від ПРД до об'єкта; відстанню r_{Π} , яку проходить відбитий від об'єкта сигнал до ПРМ; відстанню $r_{0\Pi}$ між ПРМ і ПРД позиціями (опорний сигнал).

Таким чином, фаза траєкторного сигналу представляє собою різницю між сумою фаз зондувального і відбитого сигналів та фазою опорного сигналу (тут не врахована випадкова початкова фаза)

$$j_{\Pi}(t, 0) = j_H + j_{\Pi} - j_{0\Pi} = \kappa(r_H + r_{\Pi} - r_{0\Pi}) = \kappa \left[R_H + R_{\Pi} - R_H + R_{\Pi} - 2V_{\Pi} t - \frac{V^2 t^2 R_{\Pi}}{2R_H(R_H - R_{\Pi})} \sin^2 \theta_H \right]. \tag{7}$$

За умови $R_H \gg R_{\Pi}$ і $VT_C \ll R_H$ останнім членом можна знехтувати. Фаза сигналу від об'єкта в цьому випадку змінюється за лінійним законом:

$$j_{\Pi}(t, 0) = \frac{4\pi}{\lambda} V_{\Pi} t,$$

так як сигнал має постійну доплерівську частоту.

У випадку коли на приймальній позиції швидкість V_{Π} відома, а також відома геометрія взаємного розташування ПРД, ПРМ і об'єкту (у розглянутому випадку — на одній прямій лінії), траєкторний сигнал об'єкта представляє собою гармонійний сигнал з відомою доплерівською частотою $f_{ДЦ} = \frac{2V_{\Pi}}{\lambda}$.

Фаза сигналу від об'єкта для елемента зміщеного на кутову координату l , визначається відповідними відстанями:

$$j_{\Pi}(t, l) = k(r_{HI} + r_{PI} - r_{0PI}), \tag{8}$$

де $r_{HI} = R_H - Vt \cos \theta_H + \frac{Vtl}{R_H} \sin^2 \theta_H; r_{PI} = R_{\Pi} - Vt + \left(\frac{l}{R_{\Pi}}\right)^2 \frac{V_{\Pi}t}{2},$

$$r_{0PI} = R_{0PI} + V_{\Pi}t - Vt \cos \theta_H + \frac{V^2t^2}{2R_{0PI}} \sin \theta_H.$$

Для випадку $R_H \gg R_{\Pi}$ без обліку початкової фази:

$$j_{\Pi}(t, l) = \frac{2\pi}{\lambda} \left[2V_{\Pi}t + Vt \left(\frac{l}{R_H}\right) \sin \theta_H + \frac{V_{\Pi}t}{2} \left(\frac{l}{R_H}\right)^2 \right]$$

Відповідно доплерівська частота траєкторного сигналу об'єкта спостереження з координатою l

$$f_{Д}(t, l) = \frac{2V_{\Pi}}{\lambda} + \frac{V}{\lambda} \left(\frac{l}{R_H}\right) \sin \theta_H + \frac{2V_{\Pi}}{\lambda} \left(\frac{l}{R_H}\right)^2. \tag{9}$$

Таким чином, доплерівська частота траєкторного сигналу визначається кутовою координатою об'єкта (l/R_H) . Лінійна залежність частоти від координати формується рухом передавальної позиції зі швидкістю V , а квадратична залежність - рухом приймальної позиції зі швидкістю V_{Π} .

Функція невизначеності траєкторного сигналу при $W(t) = 1$ має вигляд:

$$J(l) = \frac{1}{T_C} \int_{-T_C/2}^{T_C/2} \exp \left\{ j \left[j(t, l) - j(t, 0) \right] \right\} dt = \frac{1}{T_C} \int_{-T_C/2}^{T_C/2} \left\{ jk \left[Vt \frac{l}{R_H} \sin \theta_H + \frac{V_{\Pi}t}{2} \left(\frac{l}{R_H}\right)^2 \right] \right\} dt =$$

$$= \frac{\sin \left[\frac{\pi T_C}{\lambda} \left(\frac{l}{R_H}\right) V \sin \theta_H + \left(\frac{l}{R_H}\right)^2 \frac{V_{\Pi}}{2} \right]}{\frac{\pi T_C}{\lambda} \left(\frac{l}{R_H}\right) V \sin \theta_H + \left(\frac{l}{R_H}\right)^2 \frac{V_{\Pi}}{2}}.$$

Розглянемо основні властивості ФН при напівактивному синтезуванні і спостереженні нерухомого об'єкта спостереження. Слід зазначити, що у випадку $\dot{V}_{\Pi} = \dot{V}$ і $R_H = R_{\Pi}$ система відповідає звичайній однодіапазонній РСА. Розглянемо випадки:

- $\dot{V}_{\Pi} = 0$ відповідає нерухомій (малошвидкісній $\dot{V}_{\Pi} \ll \dot{V}$) приймальній позиції, квадратичний член ФН у цьому випадку відсутній і розділення у передньому секторі огляду приймальної позиції визначається з виразу:

$$\delta l_1 = \frac{\lambda R_H}{VT_C \sin \theta_H},$$

та забезпечується рухом тільки передавача і відповідно менше у два рази в порівнянні з однопозиційною РСА. Важливо відзначити, що розділення не залежить від швидкості руху V_{Π} і дальності R_{Π} приймальної позиції до об'єкта спостереження.

- $V = 0$ відповідає переміщенню тільки приймальної позиції на об'єкт (передній огляд) зі швидкістю V_{Π} . В цьому випадку рухається тільки приймач, розділення в два рази гірше, ніж для однопозиційної РСА:

$$\delta l_2 = 2,6 R_{\Pi} \sqrt{\frac{\lambda}{V_{\Pi} T_C}}.$$

При наближенні приймальної позиції до об'єкта ($R_{\Pi} \rightarrow 0$) настає момент, коли на розділення $\delta l_2 = \delta l_1$, починає впливати розділення за рахунок руху ПРМ. Граничне значення R_{Π} , коли $\delta l_2 = \delta l_1$, при $V = V_{\Pi}$ дорівнює:

$$R_{\text{пер}} = \frac{R_H}{2,6} \sqrt{\frac{\lambda}{V_{\text{П}} T_C}}.$$

ФН траєкторного сигналу має два максимуми: при $l_1 = 0$ і $l_2 = \frac{-2R_{\text{П}}^2 V}{R_H V_{\text{П}}} \sin \theta_H$. Перший і другий максимуми рознесені за кутом на величину яка визначається наступним чином:

$$\frac{l_2}{R_{\text{П}}} = -\frac{2R_{\text{П}} V}{R_H V_{\text{П}}} \sin \theta_H \cong -\frac{2R_{\text{П}}}{R_H},$$

і яка звичайно більше ширини ДС реальної антени, тобто перебуває поза зоною огляду. При $R_{\text{П}} < R_{\text{пер}}$ другий максимум збігається з основним.

У випадку $R_{\text{оп}} \approx R_H$ ($R_{\text{П}} \ll R_H$) відбувається повна компенсація фазових нестабільностей траєкторного сигналу, обумовлених траєкторними нестабільностями і нестабільностями середовища поширення. Це пояснюється тим, що і зондувальний сигнал (опорний) і сигнал підсвітлювання проходять той же самий шлях.

Таким чином, при напівактивному синтезі розділення у передній зоні огляду нерухомих об'єктів не залежить від дальності і становить половину розділення РСА, цілевказання і підсвітлювання при бічному огляді.

Траєкторний сигнал приймальної позиції має доплерівську частоту, обумовлену відповідною частотою відбитого сигналу в основному каналі:

$$f_{\text{до}} = \frac{1}{\lambda} (V \cos \theta_H + V_{\text{ц}} \cos \gamma + V_{\text{ц}} \cos \alpha + V_{\text{П}} \cos \theta_{\text{ц}}),$$

і частотою опорного сигналу в каналі синхронізації $f_{\text{оп}} = \frac{1}{\lambda} (V \cos \theta_{\text{П}} - V_{\text{П}} \cos \theta_{\text{оп}})$.

Частота траєкторного сигналу дорівнює різниці цих частот: $f_{\text{ц}} = f_{\text{до}} - f_{\text{оп}}$. Так як частота опорного сигналу $f_{\text{оп}}$ не залежить від параметрів об'єкту то опорний сигнал визначає лише зміну носійної частоти сигналу від об'єктів моніторингу.

Зсув об'єкту на відстань l за кутовою координатою приводить до зсуву кута спостереження на величину θ_1 відносно ПРД і θ_2 відносно ПРМ. Тоді доплерівська частота сигналу основного каналу ПРМ буде дорівнювати:

$$f_{\text{до}}(l) = \frac{1}{\lambda} [V \cos(\theta_H - \theta_1) + V_{\text{ц}} \cos(\gamma - \theta_1) + V_{\text{ц}} \cos(\alpha + \theta_2) + V_{\text{П}} \cos(\theta_{\text{ц}} + \theta_2)]. \quad (11)$$

Частота опорного сигналу при цьому не змінюється. Функція невизначеності траєкторного сигналу буде мати форму:

$$J(l) = \frac{1}{T_C} \int_0^{T_C} \exp\{j2p[f_{\text{ц}}(0) - f_{\text{ц}}(l)]\} dt = \frac{1}{T_C} \int_0^{T_C} \exp\{j2p[f_{\text{до}}(0) - f_{\text{до}}(l)]\} dt. \quad (12)$$

Різниця доплерівських частот при $\theta_1 \ll 1$ і $\theta_2 \ll 1$ записується наступним чином:

$$f_{\text{до}}(0) - f_{\text{до}}(l) = \frac{1}{\lambda} [V\theta_1 \sin \theta_H + V_{\text{ц}}\theta_1 \sin \gamma + V_{\text{ц}}\theta_2 \sin \alpha + V_{\text{П}}\theta_2 \sin \theta_{\text{ц}}]. \quad (13)$$

У випадку, коли $\theta_H \approx \theta_{\text{П}}$, можна вважати, що $\theta_1 = l/R_H$ і $\theta_2 = l/R_{\text{П}}$. При цьому різниця доплерівських частот формалізується наступним чином:

$$f_{\text{до}}(0) - f_{\text{до}}(l) = \frac{l}{\lambda} [(V \sin \theta_H + V_{\text{ц}} \sin \gamma)/R_H + (V_{\text{ц}} \sin \alpha - V_{\text{П}} \sin \theta_{\text{ц}})/R_{\text{П}}] = \frac{l}{\lambda} (\Omega_H - \Omega_{\text{П}}), \quad (14)$$

де $\Omega_H = (V \sin \theta_H + V_{\text{ц}} \sin \gamma)/R_H$ - кутова швидкість лінії візування об'єкта щодо передавальної позиції; $\Omega_{\text{П}} = (V_{\text{ц}} \sin \alpha - V_{\text{П}} \sin \theta_{\text{ц}})/R_{\text{П}}$ - кутова швидкість лінії візування об'єкта відносно приймальної позиції.

Роздільна здатність за кутовою координатою l (ширина ФН на рівні -3 дБ) визначається, як і в інших випадках, кутовим розміром синтезованої апертури:

$$\delta l = \frac{\lambda}{\beta_0} = \frac{\lambda}{(\Omega_H - \Omega_{\text{П}}) T_C}. \quad (15)$$

Кутовий розмір апертури визначається зміною кута спостереження об'єкта щодо передавальної і приймальної позицій:

$$\beta_0 = (\Omega_H - \Omega_{\text{П}}) T_C. \quad (16)$$

У цьому випадку важливо враховувати, також, напрямки переміщень, оскільки вони можуть компенсувати один одного.

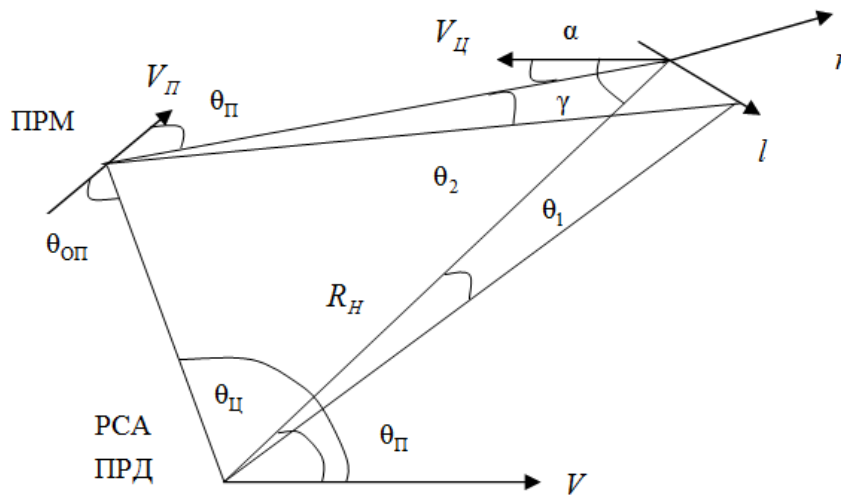


Рис. 5. Формування радіолокаційного зображення в напівактивній РСА при довільному русі приймальної та передавальної позицій

Висновки

Отже, підсумовуючи викладене, варто відмітити наступні результати досліджень:

1. Якщо ПРМ і ПРД позиції розташовані таким чином, що кути θ_H і θ_{Π} близькі один одному, утворюється мінімальний роздільний майданчик. Розмір цього майданчика за дальністю визначається шириною спектру зондувального сигналу, а за азимутом - кутовим розміром синтезованої апертури.
2. В багатопозиційних РСА використовується одна передавальна позиція, що рухається за обраною траєкторією і забезпечує підсвітлювання заданої зони огляду. Взаємно незалежні приймальні позиції, які використовують відбиті сигнали, формують РЛЗ об'єктів розташованих у зоні огляду. Число приймальних позицій і траєкторії їх руху визначаються специфікою завдань які слід розв'язати.
3. При багатопозиційному режимі забезпечується: висока роздільна здатність у всій зоні огляду приймальної позиції (у тому числі в передній зоні); скритність роботи приймальних позицій; малі маси, енергоспоживання і вартість апаратури приймальної позиції.
4. Високе роздільня за азимутом забезпечується навіть при нерухомій (наземній, аеростатній) приймальній позиції незалежно від дальності за рахунок руху підсвітлювача і зменшується у порівнянні з однопозиційною РСА всього в два рази.
5. Найбільш складним завданням при реалізації багатопозиційної РСА є забезпечення синхронізації приймальних позицій з передавальною за носійною частотою, частотою повторення і напрямком ДС антен.

Література

1. Кондратенков Г.С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Г.С. Кондратенков, А.Ю. Фролов; под ред. Г. С. Кондратенкова. — М.: «Радиотехника», 2005. — 368 с.
2. Реутов А.П. Радиолокационные станции бокового обзора /А.П. Реутов, Б.А. Михайлов, Г.С. Кондратенков, Б.В. Бойко. – М.: Сов. радио, 1970. – 360 с.
3. Harger R.O. Synthetic aperture radar system. - New-York, London, Academic Press, 1970. 316 p.
4. Кондратенков Г.С. Обработка информации когерентными оптическими системами / Г.С. Кондратенков. – М.: Сов. радио, 1972. – 207 с.
2. Ультразвуковой спектроанализатор радиолокационных сигналов с использованием явления дифракции света на ультразвуковых волнах в прозрачной среде, возбуждаемых радиолокационными сигналами: А. с. № 21080 СССР /Г.С.Кондратенков заявлено 08.09.59 г.
3. Кондратенков Г.С. Некоторые вопросы теории оптической обработки радиолокационных сигналов / Г.С. Кондратенков // Труды ВВИА им. Н.Е. Жуковского. – 1962. – № 944. – С. 65–73.
4. Кондратенков Г.С. Радиолокационные станции обзора Земли / Г.С. Кондратенков, В.А. Потехин, А.П. Реутов, Ю.А. Феоктистов; под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Радио и связь, 1983. – 272 с.
5. Саблин В.Н. Разведывательно-ударные комплексы и радиолокационные системы наблюдения земной поверхности / В.Н.Саблин. – М.: Радиотехника, 2002. – 250 с.
6. Неронский Л.Б. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны / Л.Б. Неронский, В.Ф. Михайлов, К.В. Брагин. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 1999. – 220 с.

7. Вакин С.А. Основы радиоэлектронной борьбы / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1998. – 434 с.

Рецензія/Peer review : 29.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

УДК 621.397

Ю.Ф. АДАМЕНКО, М.В. ЗІНЧЕНКО, Я.В. ГАДЖИЛОВ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ОЦІНКА ЗАСОБІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИГНАЛІВ

Робота присвячена оцінці ефективності використання засобів цифрової обробки сигналів в системах цифрового телевізійного мовлення. Проведено порівняння якості закодованих цифрових відеозображень найпоширенішими кодеками: H.264/AVC, XviD, Windows Media Video v9. Показано, що об'єктивна оцінка кожного з кодеків вимагає розгляду принаймні трьох методів аналізу: PSNR, SSIM, VQM. Складність оцінювання засобів цифрової обробки вимагає врахування рівня прояву того чи іншого показника якості з часом на ранг кодеків. Оскільки, середні оцінки якості зображення понижуються із зменшенням швидкості цифрового потоку, то порівнювати кодеки між собою можливо за співвідношенням середньої оцінки якості зображення та швидкості цифрового потоку. Застосування статистичного підходу, шляхом створення вибірок миттєвих співвідношень для кожного з кодеків, дозволило знайти ймовірнісні дані ранжування кодеків за трьома методами.

Ключові слова: цифровий телевізійний сигнал, засоби цифрової обробки сигналів, статистичний аналіз.

YU.F. ADAMENKO, M.V. ZINCHENKO, YA.V. GADZHYLOV
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

EVALUATION OF DIGITAL PROCESSING OF TELEVISION SIGNALS

The work is devoted to the use efficiency evaluation of digital signal processing means in the systems of digital television broadcasting.

The comparison of the quality of the encoded digital video by the most common codes (H. 264/AVC, XviD, Windows Media Video v9) is performed. It is shown that an objective evaluation of each codecs requires consideration of at least three analysis methods: PSNR, SSIM, VQM. The complexity of the evaluation of the digital processing means requires consideration of the expression level for a given quality score over time to the rank of codecs. So, the average image quality evaluation decreases with decreasing speed of the digital data stream, to compare the codecs is possible by correlation the average image quality evaluation and bit rate.

The application of statistical approach, by sampling the instantaneous correlations for each of the codecs is possible to find the probabilistic rankings of the codecs for the three methods.

Keywords: digital television signal, digital signal processing means, statistical analysis.

Вступ

Оцінку якості телевізійного зображення можна здійснити безпосередньо оцінкою зображення на екрані або за якістю ТВ сигналу на виході досліджуваного каналу. Це може бути як результат спостереження людини або групи людей (суб'єктивний підхід), так і результат роботи приладів, що в тій чи іншій мірі моделюють процес суб'єктивного оцінювання та фіксують погіршення якості зображення та звуку чи спотворення ТВ сигналу (об'єктивний підхід).

Складним та актуальним завданням є забезпечення якості зображень та звуку під час їх відтворення. На практиці досить часто мають місце ситуації, коли початкове і оброблене зображення здаються спостерігачеві ідентичними, тоді як об'єктивні методи для одних і тих же зображень дають дуже велику похибку. Враховуючи те, що оцінка якості людиною є вирішальною, подібна похибка при об'єктивних вимірах може бути просто не допустимою. Це і обумовлює головну складність розробки об'єктивних методів.

Методи об'єктивного вимірювання якості зображень можна розділити на дві великі групи – методи, що не враховують особливості сприйняття зображень людиною, та методи, які враховують ці особливості. Методи першої групи більш прості в реалізації (пікове відношення сигнал/шум, середньоквадратична абсолютна різниця, середня різниця), проте методи другої групи дають найбільш відповідні суб'єктивним оцінкам результати.

Існують односторонні і двосторонні об'єктивні алгоритми оцінки якості цифрового відеосигналу. Односторонні алгоритми застосовуються в тих випадках, коли немає можливості порівняти оброблений сигнал з оригіналом. Більшість з них спираються на апріорну інформацію про те, за якими принципами відбувалася обробка вихідного відеосигналу, а також про виникаючі у процесі обробки типах спотворень. Прикладом слугують алгоритми виявлення блочної структури або оцінки шумів квантування. До двосторонніх відносяться алгоритми, засновані на порівнянні двох зображень або їх властивостей: вихідного (оригіналу) і обробленого. Серед них широке практичне застосування, зважаючи на просту математичну інтерпретацію, мають алгоритми, засновані на порівняннях відповідних пікселів. Тим не менше найбільш перспективними двосторонніми алгоритмами, яким в останні роки присвячено більшість досліджень в області методів оцінки якості відеосигналу, є алгоритми, що враховують систему візуального сприйняття людини (наприклад, алгоритми, засновані на структурній подібності).

Постановка задачі

В системах цифрового телевізійного мовлення для сигналів високої чіткості використовують кодек H.264/AVC, який належить до групи кодеків MPEG-4. В останній час йде мова щодо його покращення, але немає єдиної думки, що саме і як треба покращувати. Можливо взагалі змінювати нічого не варто. Рациональним шляхом вирішення поставлених проблем є проведення порівняння якості зображень закодованого цим кодеком з іншими відомими кодексами. наприклад кодек XviD формату MPEG4-ASP з відкритими вихідними текстами та кодек Windows Media Video версії 9 пропріетарного формату MPEG-4, що використовуються для кодування мультимедійної інформації в телекомунікаційних мережах. Зазначимо, що усі використовувані кодеки є безкоштовними.

Об'єктивна оцінка кожного з кодеків полягає у розгляді трьох методів: PSNR, SSIM, VQM. Ці методи вирізняються критеріями оцінювання, а отже, ставимо за мету обґрунтувати умови за яких той чи інший кодек згідно вказаних методів матиме якомога якісну об'єктивну оцінку. Причому, складність оцінки полягатиме в тому, що у залежності від рівня прояву того чи іншого показника якості з часом ранг кодеків може змінюватися.

Основна частина

Для проведення дослідження обрано динамічну відеопослідовність з насиченими кольорами, швидким панорамуванням, рухом, зміною масштабу зображення та дрібними деталями. Тривалість відео послідовності — 1хв. Дослідження проведено для трьох значень швидкості цифрового потоку — 400 кбіт/с, 1200 кбіт/с та 4000 кбіт/с (значення 1200 кбіт/с є оптимальним, в той час як значенням 400 кбіт/с і 4000 кбіт/с є крайніми межами для нашого сигналу) [1]. Кодування проводилося за допомогою програми Rhozet Carbon Coder, а самі дослідження — у програмному середовищі MSU Video Quality Measurement Tool.

Розглянемо по чергово кожний застосований об'єктивний метод.

1. PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) — визначається як співвідношення між максимумом можливого значення сигналу і потужністю шуму, що його спотворює і обчислюють за середньоквадратичним відхиленням початкового зображення від перетвореного відеокадру відносно найбільш можливого значення пікселя за формулами:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_f}{\sqrt{MSE}} \right),$$

де $MSE = \frac{1}{mn} \sum_0^{m-1} \sum_0^{n-1} [f(i,j) - g(i,j)]^2$ — середньоквадратичне відхилення, f та g — матричні дані вихідного та закодованого зображення, m та n — число рядків та стовпців пікселів у кадрі, i та j — індекс пікселя в рядку та стовпці, відповідно, MAX_f — максимальне значення пікселя [2]. PSNR зазвичай використовується для вимірювання рівня спотворень при стисненні зображень.

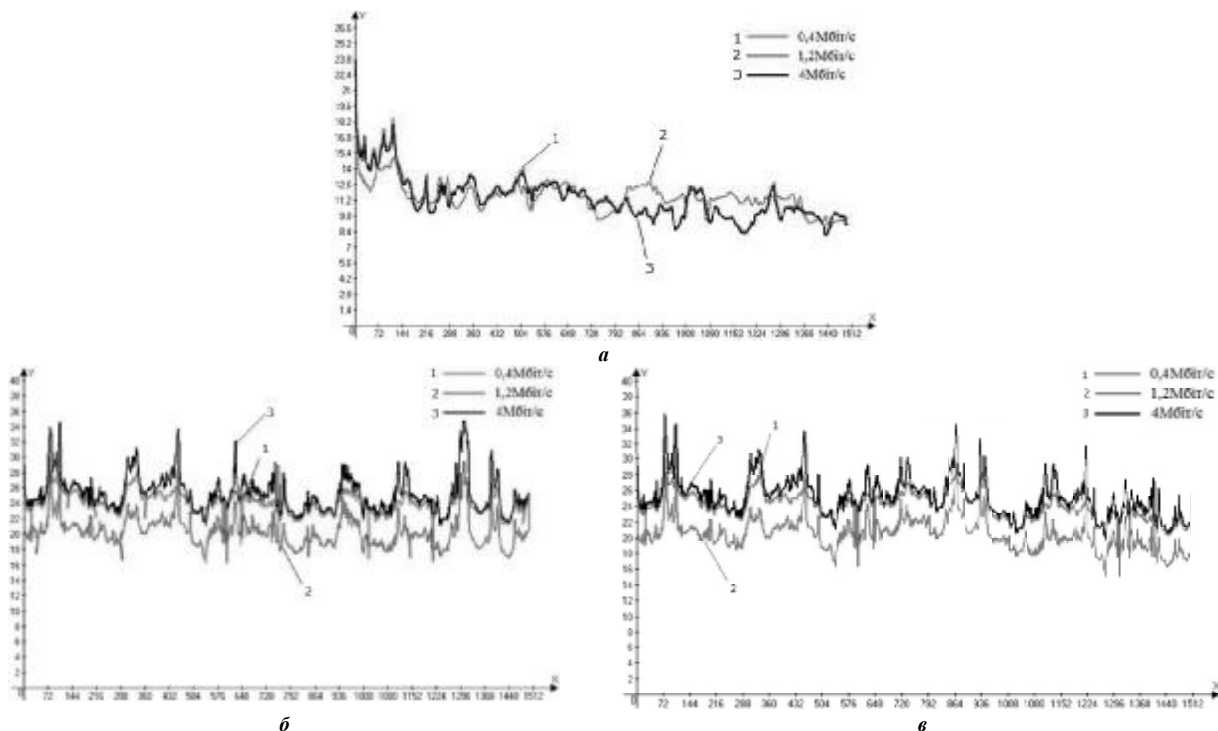


Рис. 1. Покадрове значення метрики PSNR для кожної відеопослідовності кодованої кодексами: а) H.264, б) WMV 9.0, в) XviD

Метрика PSNR має цілий ряд недоліків. Для обчислення величини PSNR необхідно мати і

початкову, і перетворену послідовності, але перша буває не завжди доступна. Крім того, не завжди легко перевірити, чи початкове відео має високу якість. Величина PSNR погано корелює з результатами суб'єктивного оцінювання якості.

Для деякого зображення або послідовності зображень велике PSNR зазвичай вказує на високу, а мале PSNR — на низьку якість перетворених зображень у порівнянні з початковими. На рисунку 1 наведені результати використання PSNR для кожної кодованої відеопослідовності.

Нульовому рівневі спотворень відповідає значення PSNR, що дорівнює нескінченності. Але конкретні величини необов'язково гарантують абсолютно суб'єктивну якість. На практиці відеопослідовність зображення зі значеннями PSNR порядку 40-43 дБ і вище є зображенням високої якості, у той час як значення порядку 30 дБ і нижче характеризують зображення поганої якості. Ці значення приведені для якості зображення, що передається у сучасному цифровому телебаченні. В нашому досліді використовується відеопослідовність з якістю на порядок нижче, що викликає за собою відповідні зміни значень. Але високе значення PSNR не завжди гарантує добру якість, через те, що зорова система людини має нелінійний характер.

Відносно простий з математичної точки зору метод, дає досить об'єктивну оцінку, але не враховує тонкощів людської реакції на різного роду спотворення зображення.

2. SSIM (Structure Similarity Index Measure) — індекс структурної схожості зображення. Цей метод враховує особливості сприйняття зображень людиною, які полягають у підвищеній увазі до зміни яскравості та контрасту зображення. На відміну від PSNR метод SSIM враховує методологію середньоквадратичної похибки MSE. Суть методу полягає в обчисленні індексу структурної схожості зображення (Structure Similarity Index Measure - SSIM) [3], який базується на вимірюванні трьох складових – схожості за яскравістю, схожості за контрастом і структурної схожості та об'єднанні їх в кінцевий результат. Алгоритм обчислення індексу SSIM представлена на рисунку 2. Метод враховує особливості сприйняття зображень людиною, які полягають у підвищеній увазі до зміни яскравості та контрасту зображення.

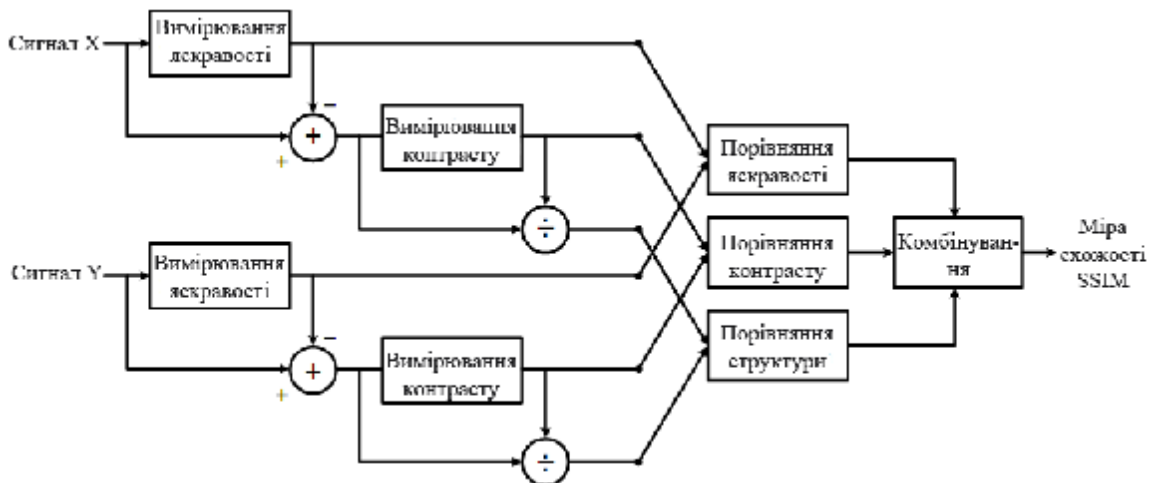


Рис. 2. Алгоритм обчислення індексу SSIM

Нехай $x = \{x_i | i = 1, 2 \dots N\}$ і $y = \{y_i | i = 1, 2 \dots N\}$ — початкове і оброблене зображення відповідно. Тоді індекс структурної схожості зображення:

$$SSIM = \frac{(2 \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} + C_1)(2 \cdot s_{xy} + C_2)}{(\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + C_1)(s_x^2 + s_y^2 + C_2)},$$

де \bar{x} — середнє значення пікселів початкового зображення як міра його яскравості, \bar{y} — середнє значення пікселів обробленого зображення як міра його яскравості, s_x^2 — стандартне відхилення значень пікселів початкового зображення як міра його контрасту, s_y^2 — стандартне відхилення значень пікселів обробленого зображення як міра його контрасту, s_{xy} — кореляція значень пікселів початкового і обробленого зображення як міра структурної схожості двох зображень, C_1, C_2 — деякі константи, $C_1 = (K_1 L)^2$, $C_2 = (K_2 L)^2$, $K_1 \ll 1$, $K_2 \ll 1$, L — динамічний діапазон яскравості пікселів зображення (255 для 8-бітних зображень).

Якщо константи $C_1 = C_2 = 0$, то маємо частковий випадок індексу, який має назву універсального

індексу якості (Universal Quality Index – UQI) [3], який дає нестабільні результати, коли $(\bar{x}^2 + \bar{y}^2)$ чи $(s_x^2 + s_y^2)$ прямують до нуля. Як і у випадку SSIM, індекс UQI розглядає будь-які спотворення як сукупність трьох різних факторів: спотворення яскравості, спотворення контрасту і втрату кореляції.

На рисунку 3. представлені результати покадрового значення метрики SSIM для кожної кодової відеопослідовності.

Зазначимо, що найкраще значення досягаються, коли $y_i = ax_i + b$ для усіх $i = 1, 2, \dots, N$, де a і b — константи і $a > 0$. Навіть якщо x і y знаходяться в лінійній залежності, можуть мати місце інші спотворення (яскравості і контрасту). Спотворення яскравості вимірюють на проміжку $[0, 1]$ як міру схожості складових яскравості двох зображень x і y . Вона набуває значення, рівне 1, тоді і тільки тоді, якщо $\bar{x} = \bar{y}$. А s_x і s_y розглядають як оцінку різниці контрасту між x і y , що також набуває значень на проміжку $[0, 1]$ і має найкращий результат при $s_x = s_y$.

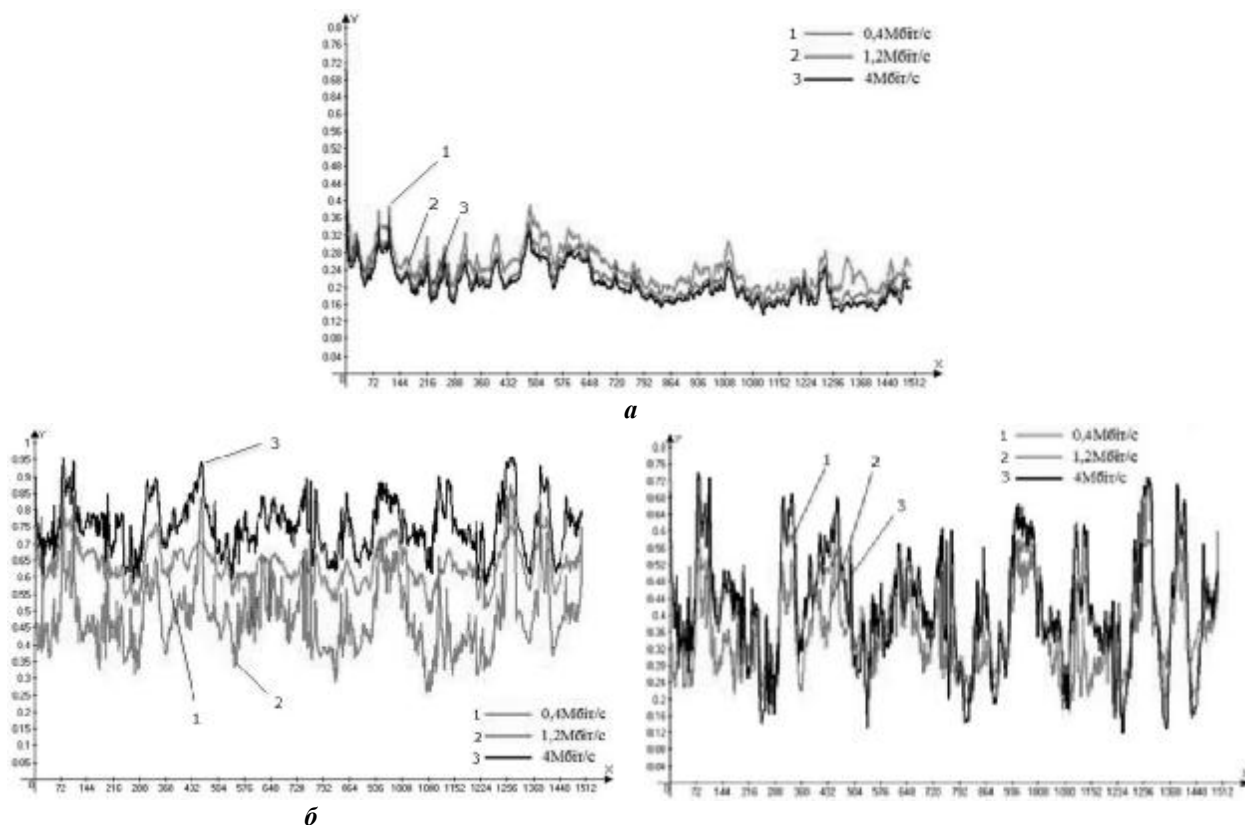


Рис.3 – Покадрове значення метрики SSIM для кожної відео послідовності кодованої кодеками:
а) H.264, б) WMV 9.0, в) XviD

3. VQM (Video Quality Measurement) — міра якості відео на основі дискретного косинусного перетворення. Оцінку якості зображення здійснюють з урахуванням максимального відхилення по усьому кадру, оскільки в алгоритмі робиться припущення про те, що одне велике спотворення в одній частині зображення відверне увагу спостерігача від менших спотворень в інших частинах кадру.[4]

Алгоритм вимірювання якості відео ґрунтується на ідеї про те, що в більшості випадків спостерігач при оцінці якості зображення менше звертає увагу на дрібні деталі, тоді як його основна увага концентрується на великих об'єктах [5]. Отже, можливо представити високочастотну часову і просторову інформацію з меншою точністю, а втратою якості у такому разі можна знехтувати, оскільки око малочутливе до спотворень на подібному рівні. Тому замість попиксельного порівняння яскравості двох зображень (еталонного і спотвореного) в алгоритмі здійснюють порівняння зважених частот на рівні людського сприйняття.

Крім того, відповідно до [5] найбільший пріоритет при оцінці якості мають ті частини зображення, яскравість яких найбільша. Це ґрунтується на припущенні про те, що якщо частина зображення яскравіша, то і спотворення на ній повинні виявитися помітніші оку.

На рисунку 4 представлено покадрове значення метрики VQM для кожної відео послідовності.

Таким чином, оцінку якості зображення здійснюють з урахуванням максимального відхилення по усьому кадру, оскільки в алгоритмі робиться припущення про те, що одне велике спотворення в одній частині зображення відверне увагу спостерігача від менших спотворень в інших частинах кадру.

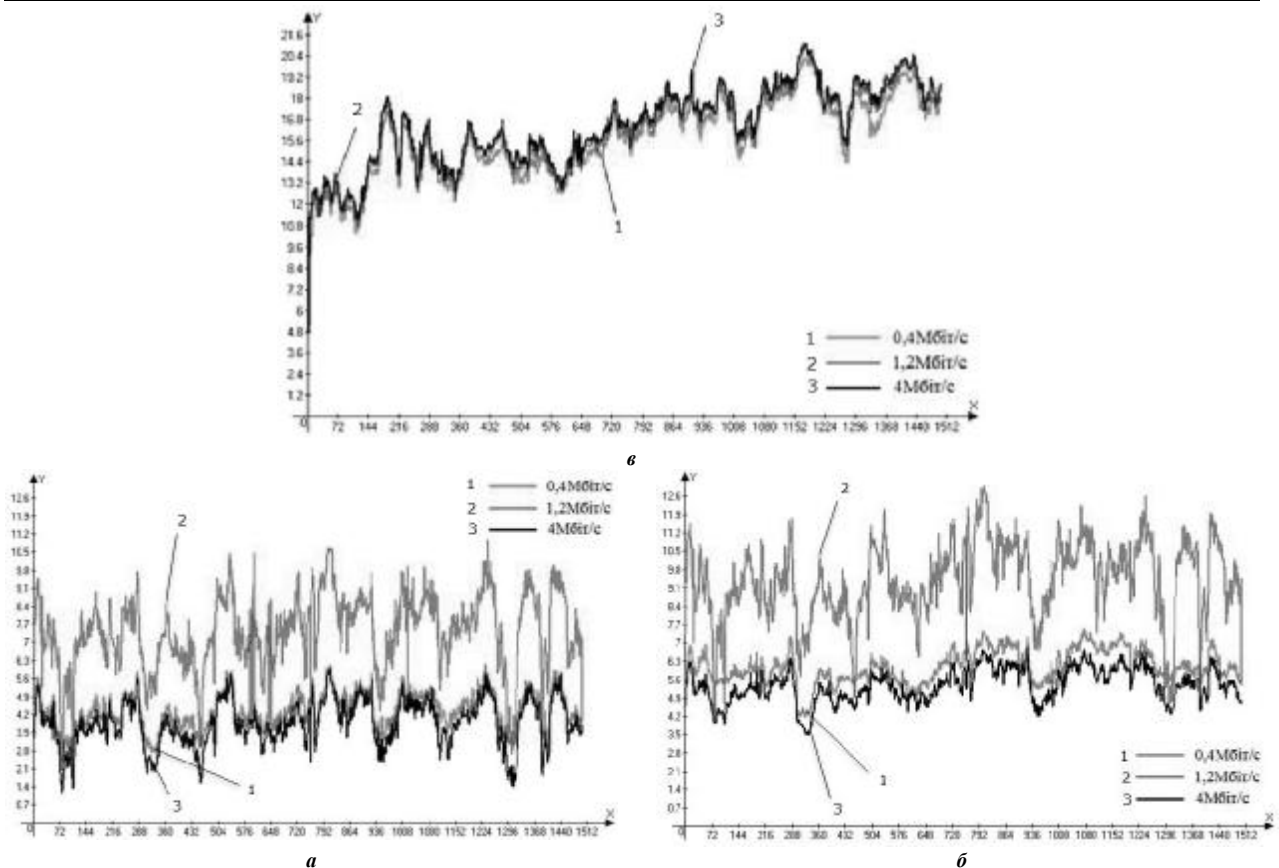


Рис. 4. Покадрове значення метрики VQM для кожної відео послідовності кодованої кодеками: а) H.264, б) WMV 9.0, в) XviD

Для наочності вимірювань середні значення метрик для кожної кодованої відеопослідовності, представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Середні значення метрик

Послідовність	Бітрейт	Середнє значення метрики		
		PSNR _{ср.} , дБ	SSIM _{ср.} , дБ	VQM _{ср.} , дБ
xVid	400 кбіт/с	21,08133	0,407488	5,903897
	1200 кбіт/с	19,15676	0,332686	8,827163
	4000 кбіт/с	21,76595	0,439281	5,082745
H.264	400 кбіт/с	13,71624	0,275785	13,329
	1200 кбіт/с	13,79212	0,254484	13,60921
	4000 кбіт/с	13,64329	0,238719	13,93264
WMV 9.0	400 кбіт/с	24,91309	0,665792	4,035878
	1200 кбіт/с	21,11191	0,482919	6,907294
	4000 кбіт/с	26,09358	0,761828	3,603731

Згідно трьох методів дослідження середні оцінки якості зображення понижуються із зменшенням швидкості цифрового потоку (збільшенням стиснення). Тобто чим менша швидкість цифрового потоку, тим гірша якість зображення. Порівнювати кодеки між собою можливо за середньою оцінкою якості зображення лише за умови, що швидкість цифрового потоку для зазначених кодеків буде однаковою, що неможливо виконати, оскільки використовуються різні методи стиснення. В цьому випадку доречним буде порівняння відповідних кожному кодеку співвідношень між середньою оцінкою якості зображення та швидкістю цифрового потоку. Так як вказані співвідношення є функціями часу, то необхідно застосовувати статистичний підхід, що полягає у створенні вибірок миттєвих співвідношень для кожного з кодеків за досить великий проміжок часу. У нашому випадку тривалість відео послідовності протягом 1хв є цілком прийнятною, оскільки кожна вибірка може містити більше 1000 елементів. У таблиці 2 для довірчої ймовірності 98 % приведені ймовірнісні впорядкування кодеків за якістю.

Отже, за результатами таблиці 2 відповідно до використаних метрик найбільш неприйнятним є кодування відео послідовності з використанням кодека XviD, а кодек H.264 можна вважати найбільш оптимальним.

За метрикою PSNR

№ рангу/ ймов. впорядкування.	6%	18%	37%	21%	13%	5%
1	xVid	H.264	H.264	WMV 9.0	WMV 9.0	xVid
2	WMV 9.0	xVid	WMV 9.0	H.264	xVid	H.264
3	H.264	WMV 9.0	xVid	xVid	H.264	WMV 9.0

За метрикою SSIM

№ рангу/ ймов. впорядкування.	8%	24%	29%	17%	13%	9%
1	xVid	H.264	H.264	WMV 9.0	WMV 9.0	xVid
2	WMV 9.0	xVid	WMV 9.0	H.264	xVid	H.264
3	H.264	WMV 9.0	xVid	xVid	H.264	WMV 9.0

За метрикою VQM

№ рангу/ ймов. впорядкування.	13%	14%	21%	25%	16%	11%
1	xVid	H.264	H.264	WMV 9.0	WMV 9.0	xVid
2	WMV 9.0	xVid	WMV 9.0	H.264	xVid	H.264
3	H.264	WMV 9.0	xVid	xVid	H.264	WMV 9.0

Висновки

Розвиток сучасних технологій в системах цифрового телевізійного мовлення для сигналів високої чіткості вимагає вирішення численних питань в оцінці якості використовуваних кодеків (H.264, WMV 9.0 та xVid). Об'єктивна оцінка кожного з кодеків вимагає розгляду трьох методів: PSNR, SSIM, VQM. Ці методи вирізняються критеріями оцінювання, а отже складність оцінювання полягатиме в тому, що у залежності від рівня прояву того чи іншого показника якості з часом ранг кодеків може змінюватися. Згідно методів дослідження середні оцінки якості зображення понижуються із зменшенням швидкості цифрового потоку (збільшенням стиснення), чим менша швидкість цифрового потоку, тим гірша якість зображення. Порівнювати кодеки між собою можливо за співвідношенням між середньою оцінкою якості зображення та швидкістю цифрового потоку. Так як вказані співвідношення є функціями часу, то необхідно застосовувати статистичний підхід, що полягає у створенні вибірок миттєвих співвідношень для кожного з кодеків за досить великий проміжок часу. Знайдені з довірчою ймовірністю 98 % дані щодо впорядкування кодеків за якістю по трьом метрикам показали, що найбільш неприйнятним є кодування відео послідовності з використанням кодека XviD, а кодек H.264 можна вважати найбільш оптимальним.

Література

1. Гулин А.И. Обзор алгоритмов контроля качества подвижных изображений, используемых для цифрового телевидения / А.И. Гулин, Р.М. Насретдинов // Телевидение и радиовещание. – 2009. – № 4. – С. 34–41.
2. Тюпа Ю.О. “Объективные и субъективные методы оценки качества изображений в цифровом телевидении.” / Ю.О. Тюпа, П.В. Попович // Збірник статей до студентської науково-технічної конференції “Електроніка-2010”. – К. – 2010. – С. 10 – 11.
3. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. [Електронний ресурс]. / Z.Wang, A. Bovik, H.R. Sheikh, P. Simoncelli – Режим доступу до інформації: http://compression.ru/video/quality_measure/ssim.pdf.
4. Ричардсон Ян. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения / Ян Ричардсон. – М.: Техносфера, 2005. — 368 с.
5. Система цифрового ТВ вещания: Стандарт DVB-S. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до інформації: <http://www.konturm.ru/tech.php?id=dvbs/info.html>

Рецензія/Peer review : 24.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Яненко О.П.

ПРОГРАМНО – АПАРАТНИЙ КОНТУР ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ САЕП ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ НАЛАШТУВАНЬ РЕГУЛЯТОРА

Запропоновано підхід до знаходження лінеаризованої моделі системи електропривода на прикладі ШП-ДПС з заданим ступенем адекватності за вибірками вхідних/вихідних даних в *System Identification Toolbox*. Здійснено налагодження контуру положення САК з двигуном *RS-385SH-2270* засобами *Simulink*.

Ключові слова: мікроконтролер, система автоматичного керування, ідентифікація, програмно-апаратний контур, налаштування, регулятор.

Y.V. SHEVCHUK

Vinnytsia National Technical University

THE SOFTWARE - HARDWARE CIRCUIT FOR A CONTROL OBJECT MODEL DETERMINATION AND EVALUATION OF ITS OPTIMAL CONTROLLER PARAMETERS

The approach of the electric drive linearized model determination with the chosen level of the adequacy on the PWM-DC system example based on input/output data in *SystemIdentificationToolbox* was done. The positioning loop establishing of the automatic control system with the *RS-385SH-2270* motor using *Simulink* was done.

The survey of the serial port and output responses to port was predefined in the testing algorithm. It allows to test the system in real time. The system test results show the adequacy of the system settings. A slight overshoot is determined by the expert criteria, which allows the obtaining of the advantage in the system performance. The delayed reactions caused by the reducer backlash.

Keywords: microcontroller, automatic control, identification, software - hardware circuit, configuration, controller.

Вступ

Інтенсивний розвиток інформаційних технологій, який спостерігається сьогодні у світі, не залишає осторонь жодну із галузей науки та техніки. Це стосується також наукових і прикладних аспектів галузі електромеханічних систем автоматизації і дозволяє по-новому розглянути ті чи інші задачі, та отримати нові кращі результати.

Пакет прикладних програм Matlab (надалі Matlab) містить в собі підпрограми для широкого кола задач, останні релізи яких мають багато нових можливостей, зокрема, для синтезу законів керування електроприводами, для дослідження та аналізу їх роботи, для знаходження оптимальних налаштувань корегуючих пристроїв системи [1, 2].

В роботі пропонується реалізація програмно апаратного контуру, структурна схема якого представлена на рисунку 1. На схемі: Controller – система керування, реалізована на восьмирозрядному мікроконтролері Atmega2560, Ampl. – підсилювач, DC – колекторний двигун постійного струму RS-385SH-2270, R – редуктор, PS – сенсор положення, PC – персональний комп'ютер, API_MATLAB – прикладний програмований інтерфейс.

Для проведення ідентифікації об'єкта керування необхідно забезпечити реєстрацію його реакції на задані, характерні тестові сигнали для подальшого аналізу. Для цього мікроконтролер потрібно запрограмувати згідно із запропонованою структурною схемою, що представлена на рисунку 2а [3, 4, 5]. На схемі (рис. 2а): 1 - RX вивід послідовного інтерфейсу мікроконтролера, 2 – блок аналізу сигналів послідовного інтерфейсу, який в разі відсутності сигналу на своєму вході передає на вихід нульове значення сигналу та розділяє вхідний байт навпіл, якщо він менше 127 передає його на fwd вихід інакше на bwd, 3 та 4 – цифрові виходи мікроконтролера, на яких реалізовані ШИМ, що задають сигнал керування силовим перетворювачем, 5 – аналоговий вхід (десятирозрядний АЦП) для зчитування сигналу сенсора положення, 6 – блок пакування сигналу в вісьмирозрядний байт для подальшої передачі по послідовному порту для обробки в мікроконтролері, 7 – TX вивід послідовного порта мікроконтролера.

Подача вхідного тестового сигналу та реєстрація реакції системи здійснюється із застосуванням середовища MatLab через відповідний послідовний порт комп'ютера, до якого підключено контролер, що працює згідно алгоритму описаному вище. Для цього в Simulink реалізована структурна схема показана на рисунку 2б. На схемі (рис. 2б): 1 – генератор тестових сигналів, 2 - блок нормування вхідного сигналу в байт, 3 – блок взаємодії з мікроконтролером через послідовний інтерфейс, структура якого розгорнута на

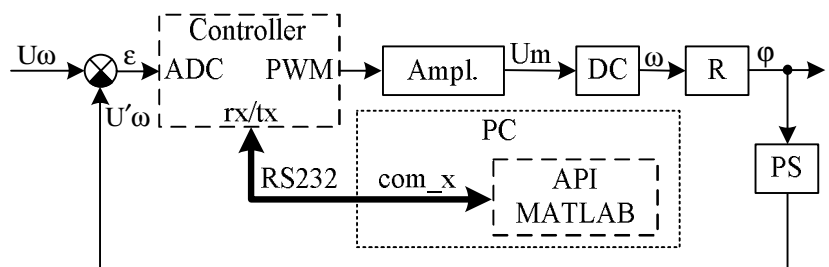


Рис. 1. Структурна схема запропонованого підходу

рисунку 2а.

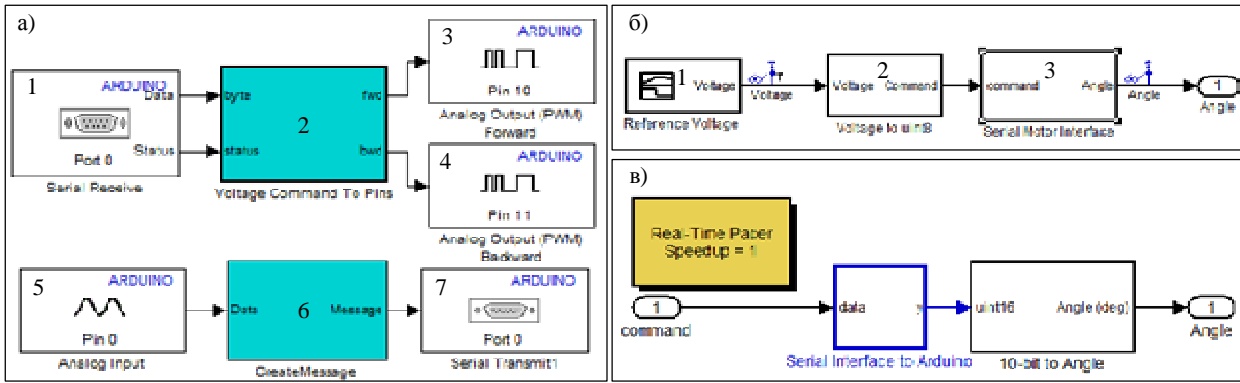


Рис. 2. Структурні схеми алгоритмів реалізованих в мікроконтролері

Експериментальна частина

У роботі проводились дослідження системи електричного приводу ШПМ-ДПС стабілізації кутового положення. Фотографія дослідної установки представлена на рисунку 3, де 1 та 2 - відповідно послідовні порти комп'ютера та мікроконтролера, 3 - підсилювач із реверсивним мостом, 4 – вхід вбудованого АЦП, 5 – мікросхема мікроконтролера, 6 – дискретний вихід для створення сигналу ШПМ, 7 – електричний двигун постійного струму з постійними магнітами RS-385SH-2270 [6], 8 – редуктор (передаточне число 137), 9 – сенсор кутового положення вала робочого органа.

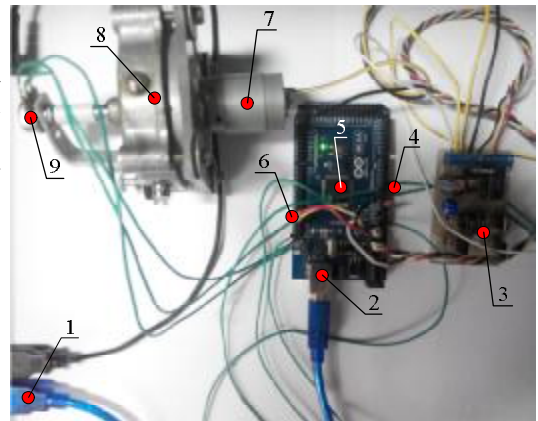


Рис. 3. Фото дослідної установки

В процесі дослідження системи на її вхід було подано низку характерних сигналів, які були генеровані за допомогою Reference Voltage блока в Simulink середовищі, виведені на послідовний порт комп'ютера та зчитані із цього ж порта згідно з рисунком 2. На рисунках 4, 5 показані графіки (вхід - вихід) дослідження системи.

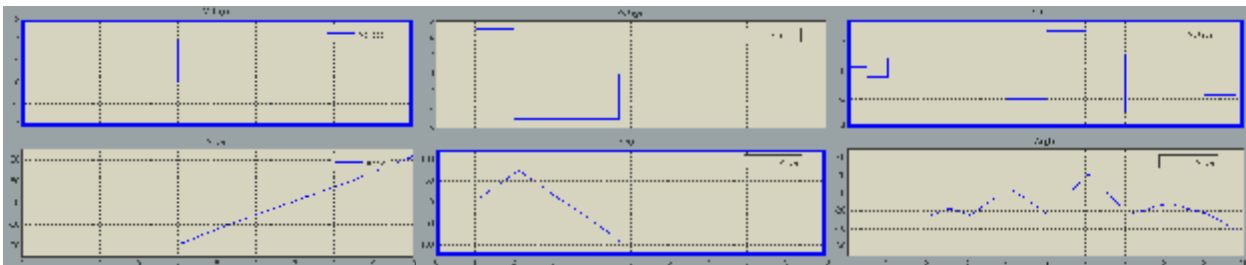


Рис. 4. Графіки вхідних та вихідних сигналів досліджуваної системи (прямокутні імпульси)

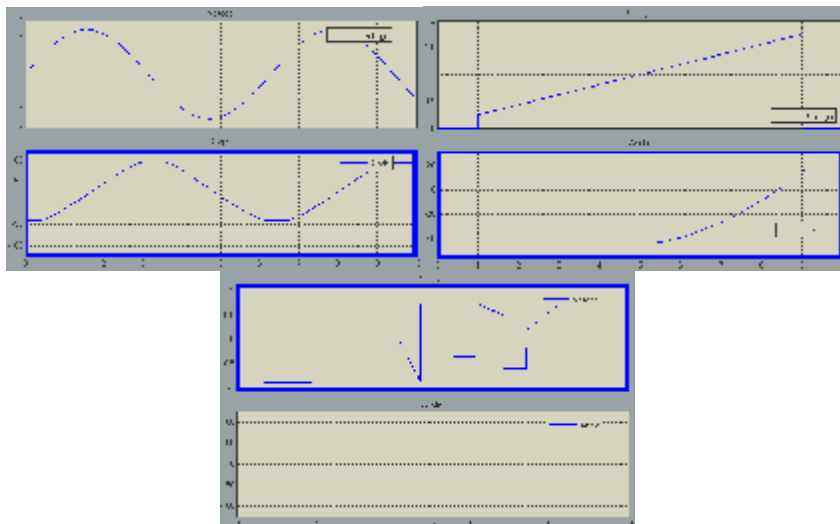


Рис. 5. Графіки вхідних та вихідних сигналів досліджуваної системи (гармонійний сигнал, зона нечутливості)

З графіків (рис. 4 та 5) можна зробити оцінку того, що система має зону нечутливості в діапазоні вхідного сигналу приблизно від 0 до 1. На решті діапазону вхідного сигналу система показує себе, як лінійна. Тому, в процесі отримання передаточної функції системи, будемо користуватися інструментами System Identification Toolbox для знаходження лінійної передаточної функції. Вхідні та вихідні дані після експерименту були збережені у відповідних пакетах для подальшої обробки.

Отримані дані перетворюємо в `idata` об'єкти та імпортуємо в System Identification Toolbox. Користуючись даними в `idata` об'єктах, визначимо динамічну модель нашої системи, як дискретну передаточну функцію. При цьому задамо порядок 2, який хочемо отримати при оцінці завантажених даних. Вираз, що описує отриману передаточну функцію представлений на рисунку 6.

```
>> tf4
tf4 =
From input "u1" to output "y1":
      0.2212 - 0.2185 z^-1
s^(-15) + -----
      1 - 1.995 z^-1 + 0.9949 z^-2
```

Рис. 6. Отриманий вираз дискретної передаточної функції

На рисунку 7а показаний графік, визначеної згідно вказаній вибірці даних, лінійної передаточної характеристики. Адекватність отриманої моделі можна оцінити згідно з графіками на рисунку 7.б

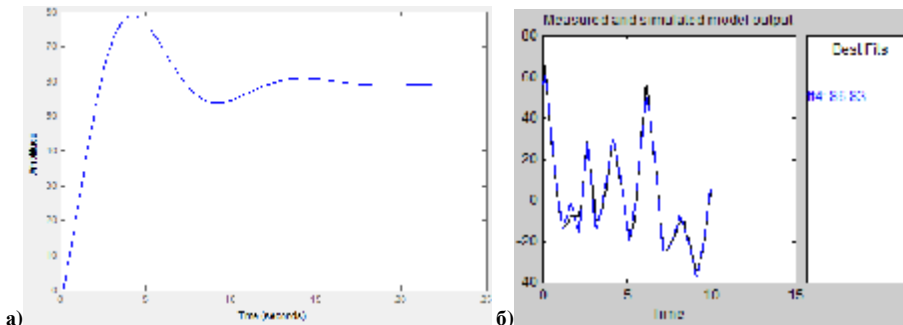


Рис. 7. Характеристика розімкненої системи та оцінка адекватності отриманої моделі

Використаємо знайдену лінійну модель досліджуваної системи для знаходження параметрів ПІД регулятора користуючись блоком автоматичного налаштування Controller. Для цього була розроблена відповідна структурна схема (рис. 8). На схемі: 1 – генератор сигналу завдання, 2 – блок - ПІД регулятор, 3 – блок лінійної моделі, який завантажує з робочої області вираз передаточної функції.

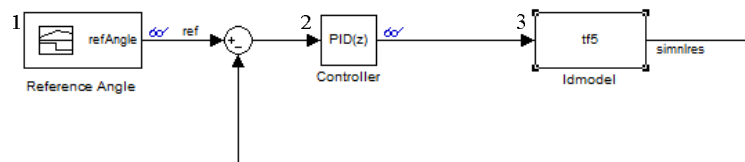


Рис. 8. Структурна схема для знаходження параметрів регулятора відповідно до заданої моделі

На рисунку 9 представлено зображення вікна налаштувань коригуючого пристрою із отриманими оптимальними параметрами для заданої моделі.

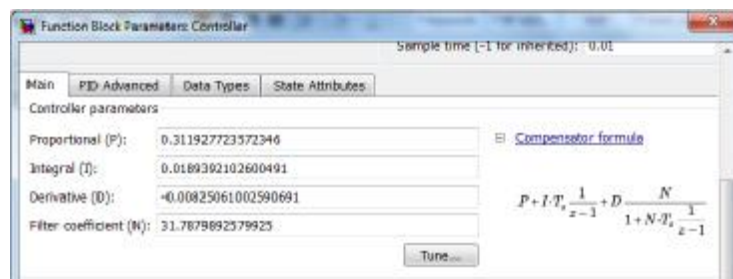


Рис. 9. Вікно налаштувань блока – ПІД регулятора після автоналаштування

Блок ПІД регулятора із збереженими параметрами після налаштування в схемі (рис. 8) переміщений в схему (рис. 10). Програма для запису в мікроконтролер була згенерована у відповідності із структурною схемою зображеною на рисунку 10. На схемі: 1 – блок отримання сигналу завдання через послідовний інтерфейс із сесії Simulink на ПК (структура розгорнута на рисунку 11), 3 – блок нормування та передачі керуючої дії через підсилювач на двигун та отримання значення кутового положення робочого механізму з подальшою передачею через послідовний порт мікропроцесора в сесію Simulink на ПК (структура розгорнута на рисунку 12).

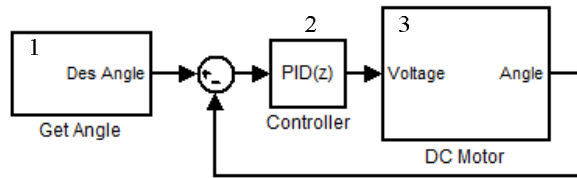


Рис. 10. Структурна схема – алгоритм роботи системи керування

На рисунку 11 показана розгорнута схема блока 'Get Angle', де: 1 – блок послідовного порту для отримання вхідних даних, 2 – блок перетворення серіалізованих байтів в сигнал кута положення виконавчого механізму.

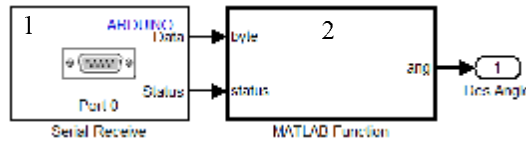


Рис. 11. Розгорнута схема блока отримання даних

На рисунку 12 приведена розгорнута схема блока 'DC Motor', де: 1 – блок серіалізації сигналу напруги, 2 – блок аналізу байта і передачі вихідного сигналу на один із виходів залежно від вхідного значення, 3 та 6 – блоки дискретних виходів мікроконтролера з підтримкою ШІМ, 4 – блок аналогового входу, 5 – блок нормування сигналу кутового положення, 7 – блок послідовного порту для передачі сигналу кута в сесію Simulink.

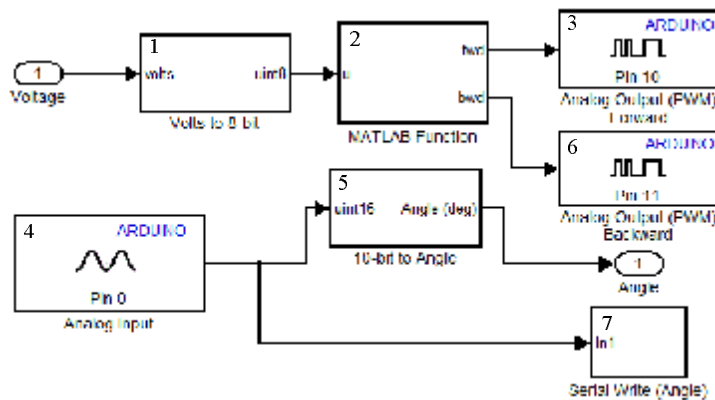


Рис. 12. Розгорнута структура системи керування без регулятора

Для випробування системи із оптимізованим контуром положення була розроблена структурна схема рисунок 13. На схемі: 1 – блок визначення кроку задання кута, 2 – блок задання кута у діапазоні 100 градусів, 3 – блок, що реалізує функціонал структури зображеної на рисунку 9.

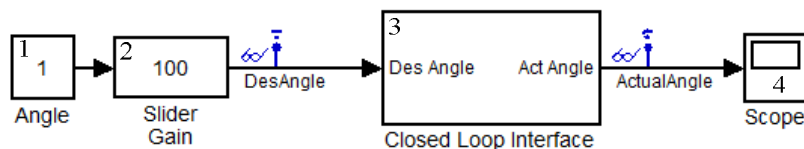


Рис. 13. Структурна схема дослідження системи в реальному часі

На рисунку 14 представлено графіки дослідження налаштованої запропонованим методом системи. Випробування проводилось у реальному часі, завдяки можливості взаємодії сесії Simulink із периферією ПК.



Рис. 14. Графіки сигналу задання та відпрацювання задачі системою

Висновки

Таким чином, запропонований підхід дозволяє отримати вибірку вхідних даних та реакції системи в режимі реального часу, отримати математичну модель контуру керування із заданим ступенем адекватності, здійснити налаштування регулятора згідно експертного критерію швидкодія/точність, згенерувати програму на мові програмування С і уже із визначеними оптимальними параметрами регулятора записати її в мікроконтролер.

В алгоритмі роботи системи керування було передбачено опитування послідовного порту та виведення реакції на порт. Це дозволило провести випробування системи в режимі реального часу. Результат тестування системи показаний на рисунку 13. Згідно графіків можна зробити висновок про адекватність налаштувань системи. Незначне перерегулювання відповідає критерію, заданому експертом, що дозволило отримати перевагу в швидкодії системи. Затримка реакції зумовлена вибором зазору шестерень редуктора.

Література

1. Learn about new product capabilities [Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступу: <http://www.mathworks.com/products/matlab/whatsnew.html>.
2. Creating an Endoscopic Surgical Stapler Prototype Using Model-Based Design .[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/creating-an-endoscopic-surgical-stapler-prototype-using-model-based-design.html?s_tid=srchtitle.
3. Best Practices for Converting MATLAB Code to Fixed Point .[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/best-practices-for-converting-matlab-code-to-fixed-point.html?s_tid=srchtitle
4. Developing a Period-Based Air-Fuel Ratio Controller Using a Low-Cost Switching Sensor.[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/developing-a-period-based-air-fuel-ratio-controller-using-a-low-cost-switching-sensor.html?s_tid=srchtitle
5. Motor Control with Arduino: A Case Study in Data-Driven Modeling and Control Design.[Електронний ресурс] / Pravallika Vinnakota. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/tagteam/77442_92066v00_motor-control-with-arduino-a-case-study-in-design.pdf.
6. RS-385SH-2270: Technical description of RS-385SH-2270.[Електронний ресурс] / MABUCHI MOTOR LTD. – Режим доступу: http://www.mabuchi-motor.co.jp/cgi-bin/catalog/e_catalog.cgi?CAT_ID=rs_385sh.

Рецензія/Peer review : 13.10.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф., Кухарчук В.В.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЙ РОЗРОБЛЕННЯ ДЛЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІЗНИХ ТИПІВ

У статті виконано аналіз використовуваних сучасних методологій розроблення програмного забезпечення. Аналіз показав, що при наявній великій кількості методологій панує повний суб'єктивізм їх вибору розробниками програмного забезпечення. У роботі доведено актуальність задачі оцінювання ефективності методологій розроблення для програмного забезпечення різних типів. Оцінювання ефективності методологій розроблення для програмного забезпечення різних типів може підвищити якість програмного забезпечення, а також знизити витрати на його розроблення.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), програмний проект, методологія розроблення ПЗ.

R.A. MALYARCHUK, T.O. HOVORUSCHENKO

Khmelnytsky National University

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF USE OF DEVELOPMENT METHODOLOGIES FOR THE DIFFERENT TYPES OF SOFTWARE

Abstract - In this paper the analysis of the subject area sources for the purpose of using of modern software development methodologies and of determining the efficiency of use of software development methodologies for different types of software was performed.

The analysis showed that the large number of methodologies exists, and the subjectivity of its choice by software developers reigns. During the evaluation of software development methodologies the developers accentuate the following problems: 1) lack of the unified knowledge base on the software development methodologies; 2) lack of the unified standard for the evaluation of software development methodologies; 3) lack of the unified criteria for evaluation of software development methodologies for different types of software. In this paper the actuality of the task of evaluation of the efficiency of the software development methodologies for different types of software was proven.

Evaluation of the efficiency of software development methodologies for different types of software can improve the software quality and reduce the cost of its development.

Keywords: software, software project, software development methodology (SDM).

Вступ

З аналізу сучасного стану галузі створення програмного забезпечення (ПЗ) випливає, що наразі програмістам доводиться використовувати комплексні засоби розроблення, які складаються з великої кількості важливих та необхідних компонентів для створення повнофункціональних програмних додатків. Одним з таких засобів є методологія розроблення ПЗ.

Методологія розроблення ПЗ – це набір методів та критеріїв оцінки, які використовуються для постановки задачі, планування, контролю і для досягнення поставленої мети [1]. Процес розроблення описується моделлю, яка визначає послідовність найбільш загальних етапів та одержуваних результатів. Методологія розроблення ПЗ – це система принципів, а також сукупність ідей, понять, методів, способів та засобів, які визначають стиль розроблення ПЗ. Методології представляють собою ядро теорії керування розробленням ПЗ [2].

Сьогодні найбільш відомими та використовуваними є наступні методології: Agile (SCRUM, XP, Dynamic System Development Method (DSDM), Kanban та інші), Microsoft Solutions Framework (MSF), Rational Unified Process (RUP), водоспадні, ітеративні та інші.

З проведеного аналізу відомих методологій розроблення [3] очевидним є існування значної кількості методологій за відсутності універсальної методології, яка підходила б для будь-якого програмного проекту, а також за відсутності чітких стандартизованих критеріїв оцінювання та вибору методології розроблення ПЗ. Тому при усій множині існуючих методологій розроблення, кількість програмних проектів з недоліками та неуспішних програмних проектів залишається досить високою (61% у 2012 році [4]), а процес розроблення ПЗ залишається недетермінованим, і результат його завжди невідомий.

Такий стан справ можна пояснити наступною причиною в контексті методологій – їх неефективністю для ПЗ певного типу. Різні типи програмних проектів вимагають різних підходів, оскільки кожна категорія проектів має різні пріоритети і цілі. Адже, зрозуміло, що неможливо використовувати один і той же підхід для розроблення Web-сторінки організації, бізнес-додатку та вбудованого програмного забезпечення для космічної ракети.

Отже, задача аналізу ефективності використання методологій розроблення для ПЗ різних типів є актуальною на етапі проектування, оскільки від ефективності використаної методології залежить майбутня успішність програмного проекту. Оцінка ефективності методологій розроблення ПЗ допоможе розробнику оцінити, чи варто йому братись за той чи інший програмний проект за наявної методології (і не витрачати часу та коштів на неуспішні програмні проекти), а замовнику дозволить зробити обґрунтований висновок про придатність або непридатність методології, а відтак і софтверної компанії, для розроблення ПЗ певного типу.

Тоді метою дослідження є аналіз джерел предметної галузі на предмет визначення ефективності

використання методології розроблення для програмного забезпечення різних типів.

Аналіз ефективності використання методології розроблення для програмного забезпечення різних типів

Оцінювання ефективності методології розроблення взагалі вимагає врахування багатьох різноманітних умов та факторів [5]: масштаб проекту; критичність проекту; кількість та розподіл повноважень учасників проекту; ступінь новизни проекту; очікувана тривалість проекту; вимоги замовника; специфіка та складність проекту. Галузеві публікації дають можливість зробити наступні висновки щодо використання методологій проектування ПЗ (табл.1).

Таблиця 1

Використання методологій розроблення для програмного забезпечення різних типів

Методологія розроблення ПЗ	Розмір програмного проекту	Тип програмного проекту	Мета та опис програмного проекту
1	2	3	4
Водоспадна (Waterfall)	Для великих, розрахованих на тривалий термін, проектів [5]. Для проектів з середніми та великими проектними командами (20+ чоловік) [8]. Середній (1-3 млн доларів США) або малий (від 250000 до 1 млн доларів США), програмний проект високої або середньої складності з середнім або низьким рівнем ризиків [10]. Іноді навіть дуже малі (до 250000 доларів США) програмні проекти низької складності з низьким рівнем ризиків [10]	Комерційні коробкові програмні продукти (COTS), сховища даних, проекти інтеграції/заміни, розроблення нових додатків – процедурні технології, аутсорсинг, одиничні проекти, проекти критичного застосування [8]. Проекти IT-B, IT-E [10]	Часто звертаються до менеджерів з метою пошуку простого для розуміння і управління підходу [8]
Ітеративна (Iterative)	Для великих, розрахованих на тривалий термін, проектів [5]. Дуже великі (10 млн доларів США або більше) і великі (3-10 млн доларів США) програмні проекти високої складності з високим рівнем ризиків [10]. Також середні (1-3 млн доларів США) або малі (від 250000 до 1 млн доларів США) програмні проекти середньої або низької складності з середнім або низьким рівнем ризиків [10]	Комерційні коробкові програмні продукти (COTS), сховища даних, проекти інтеграції/заміни, розроблення нових додатків – компонентні / об'єктні технології, аутсорсинг, одиничні проекти, проекти критичного застосування [8]. Проекти IT-A, IT-C [10]	Добре працюють в середовищах, які поки ще в змозі миритися з "ризикованими" практиками, пов'язаними з ітеративним розробленням [8]
Agile Data, Agile Model Driven Development	Для менш масштабних проектів, розрахованих на оперативну реалізацію [5]. Середні (1-3 млн доларів США) або невеликі (250 000 – 1 млн доларів США) програмні проекти середньої або низької складності з середнім або низьким рівнем ризиків [10]. Малі (від 250000 до 1 млн доларів США) програмні проекти низької складності з середнім або низьким рівнем ризиків [10]. Також малі (до 250 000) програмні проекти низької складності з низьким рівнем ризиків [10]. Для проектів з малими, спільно розташованими (суміщеними) проектними командами, які мають чітке уявлення про бізнес-завдання програмного проекту [10]	Сховища даних, проекти інтеграції/заміни, розроблення нових додатків – компонентні / об'єктні технології [8]. Проекти IT-C, IT-D, IT-E [10]	Для розроблення програмного забезпечення, орієнтованого на людину, що дозволяє ефективно реагувати на зміни і призводить до створення робочих систем, які відповідають потребам зацікавлених сторін [8]

Продовження табл. 1

1	2	3	4
Rational Unified Process (RUP)	Для масштабних та тривалих проєктів [6]	Комерційні коробкові програмні продукти (COTS), сховища даних, проєкти інтеграції/заміни, розроблення нових додатків – процедурні технології, аутсорсинг, одиничні проєкти, проєкти критичного застосування [8]	
Microsoft Solutions Framework (MSF)	Для великих проєктів, які вимагають дотримання балансу між ресурсами, часом розроблення та можливостями [6]		
SCRUM	Для невеликих та середніх проєктів, особливо якщо під час процесу розроблення очікується внесення численних змін [7]. Використовується для проєктів будь-якого розміру [8]		
XP	Для невеликих проєктів, в яких не виникає необхідності у створенні детальної документації та регламентації всіх кроків розроблення [5]. Для проєктів з малими, спільно розташованими (суміщеними) проєктними командами (4-10 чоловік) [8]	Проєкти інтеграції/заміни, розроблення нових додатків – компонентні / об'єктні технології, проєкти критичного застосування [8]	Вимоги не є чітко визначеними. Хороші стосунки (потенційно) існують із зацікавленими сторонами проєкту [8]
Об'єктно-орієнтована	Для проєктів з використанням об'єктно-орієнтованих технологій [8]. Для проєктів з середніми та великими проєктними командами (10+ чоловік) [8]	Розроблення нових додатків – компонентні / об'єктні технології [8]	
Орієнтована на дані	Для додатків, орієнтованих на дані [8]		
Dynamic System Development Method (DSDM)		Проєкти інтеграції/заміни, розроблення нових додатків – компонентні / об'єктні технології [8]	Розроблення інтерфейсу користувача інтенсивної системи; складні бізнес-додатки [8]

У таблиці 1 маються на увазі наступні характеристики для використаних типів і розмірів програмних проєктів. *Програмний проєкт низької складності*: проєктна команда мала, розташована географічно спільно (суміщена) і значною мірою однорідна. Для проєктів такого роду добре підходять команди з можливістю вербальної комунікації, коли члени проєктної команди мають можливість часто спілкуватись один з одним [10]. *Програмний проєкт середньої складності*: є суміщені (спільно розташовані) групи всередині проєктної команди, а інші члени команди знаходяться поза цією територією, або загалом проєктна команда занадто велика, щоб зібратися разом в один час. Наявність таких факторів завадить команді ефективно спілкуватись у будь-який час. Проєкти середньої комунікаційної складності потребують більш формальної, письмової комунікації, ніж програмні проєкти низької складності, але в них ще присутнє словесне неформальне спілкування [10]. *Програмний проєкт високої складності*: аутсорсингове / офшорне розроблення і великі, територіально розподілені, багатокультурні проєктні команди вимагають значно більшої кількості каналів формальної комунікації, формальних, письмових артефактів та їх ретельного вивчення. Ці проєкти за визначенням триватимуть довше і матимуть високий ризик наявності незрозумілих вимог. Учасникам таких проєктних команд рекомендується часто спілкуватись один з одним, щоб зменшити ризик використання лише явних каналів комунікації [10].

Програмні проєкти IT-A – це програмні проєкти, які статистично мають найбільші шанси стати провальними або проблемними (за функційними можливостями, бюджетом, часом виконання). Ці проєкти будуть повільно виконуватись, тому вимоги повинні бути добре задокументовані і підписані перед

передачею їх до команди розробників. Управління та контроль повинні бути зосереджені на безперервній адаптації проекту до нових та змінюваних бізнес-потреб [10]. *Програмні проекти IT-B* – це програмні проекти, для яких передбачається короткий термін виконання (шість місяців або менше) і наперед відомі вимоги [10]. *Програмні проекти IT-C* – це програмні проекти, для успішної реалізації яких потрібно врахувати той факт, що бізнес-потреби часто змінюються [10]. *Програмні проекти IT-D* – це програмні проекти, вимоги до яких з'ясовуватимуться по мірі побудови програмної системи, з швидким зворотнім зв'язком і високим ступенем залученості кінцевого користувача. *Програмні проекти IT-E* – це малі програмні проекти, для яких збір вимог, їх підтвердження та сумарні зміни проводяться в дуже короткі терміни [10].

Рисунок 1 описує і порівнює провідні методології розроблення ПЗ [8]. В центрі уваги даного рисунку – високорівневі процеси розроблення ПЗ, а не докладні методи, а також містить поради, коли варто застосовувати ту чи іншу методологію, якщо є можливість вибору.

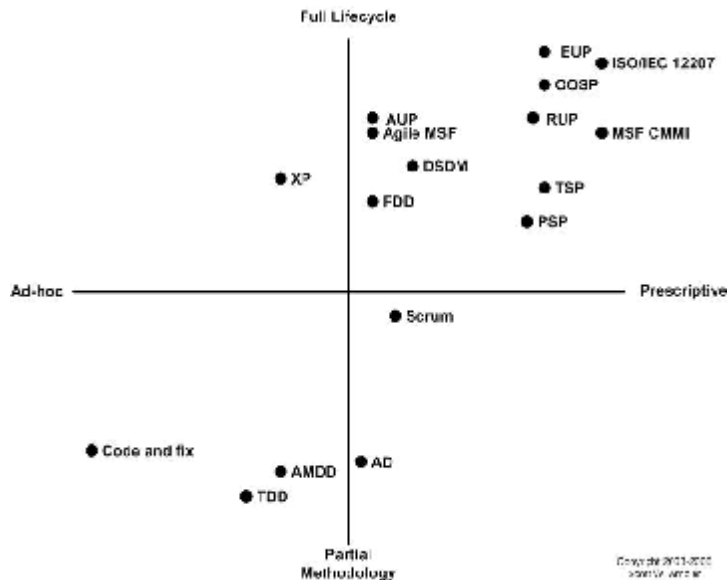


Рис. 1. Порівняння провідних методологій розроблення ПЗ [8]

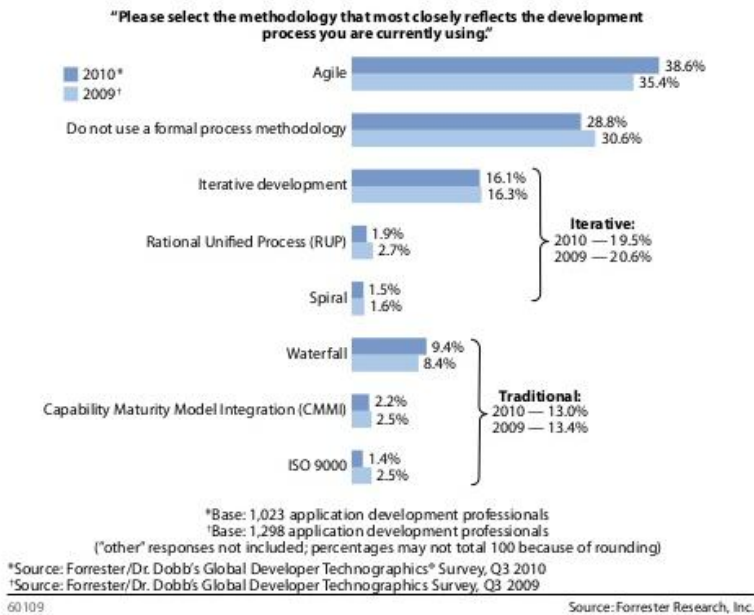


Рис. 2. Статистика використання методологій розроблення ПЗ [11]

Наразі відомі софтверні компанії використовують наступні методології: 1) AGILE-методології використовуються компанією Google; 2) MSF-методологія – компанією Microsoft; 3) традиційні методології (зокрема, CMM) – компаніями Boeing, Northrop-Grumman, Lockheed-Martin. Отже, компанії абсолютно суб'єктивно обирають методологію розроблення – немає ані критеріїв вибору методологій, ані систем підтримки прийняття рішень щодо вибору методологій, ані рекомендацій у стандартах.

Наразі є чимало джерел, які пропонують використовувати різні методології для ПЗ різних типів, але відсутня статистика про те, яка кількість проектів певного типу, розроблених за тією чи іншою методологією, є успішними. Відтак галузеві публікації не дають можливості одразу зробити висновок про ефективність використання та підходящість конкретної методології розроблення для ПЗ певного типу.

Діаграма порівняння успішності програмних проектів, реалізованих за водоспадною та AGILE-методологіями, наведена у [9], показує, що AGILE-проекти втричі успішніші за водоспадні проекти, але з неї незрозуміло, яку саме з AGILE-методологій було використано для успішних програмних проектів, а також проекти якого типу розглядалися у цьому дослідженні.

Статистика використання методологій розроблення ПЗ наведена на рисунку 2 [11].

З рисунку 2 очевидно, що у 2010 році 30,6% софтверних компаній взагалі не використовують методологій розроблення ПЗ; 38,6% софтверних компаній використовують AGILE-методології; 19,5% компаній використовують ітеративні методології розроблення; 13% софтверних компаній досі використовують традиційні (в т.ч. водоспадно) методології розроблення. Крім цього, аналіз рисунку 2 дає можливість зробити наступні висновки: 1) зростає кількість компаній, які використовують методологію розроблення ПЗ; 2) зростає кількість компаній, які використовують AGILE-методології; 3) зменшується кількість компаній, які використовують ітеративні та традиційні методології, але в той же час серед традиційних методологій зростає використовуваність саме водоспадної методології.

Висновки

При оцінюванні методологій розроблення ПЗ розробники виділяють наступні проблеми: 1) відсутність єдиної бази знань з методології; 2) відсутність єдиного стандарту для оцінювання методологій; 3) відсутність єдиних критеріїв, за якими оцінюються методології для ПЗ різних типів. Оцінювання ефективності методологій розроблення для ПЗ різних типів може підвищити якість ПЗ, а також знизити витрати на його розроблення.

Зрозуміло, що кожна софтверна компанія використовує вже придбану та впроваджену методологію розроблення, для роботи з якою є достатня кількість фахівців. Дослідницька задача полягає у визначенні, на скільки вдало вдасться спроектувати та розробити ПЗ певного типу, використовуючи певну методологію розроблення, запроваджену в конкретній софтверній компанії. Отже, іншими словами, актуальною науковою задачею є визначення ефективності конкретної методології розроблення для ПЗ певного типу.

Перспективою для подальших досліджень авторів є наступні задачі:

1) провести аналіз софтверних компаній України та світу за наступними критеріями: які використовують методології; яке ПЗ розробляють; які значення (ступені виконання) основних характеристик ПЗ забезпечують; типи та кількість успішних і неуспішних (через невідповідність методології) програмних проєктів;

2) обґрунтовано обрати критерій (адитивний або мультиплікативний) для визначення ефективності;

3) визначити значення основних характеристик ПЗ з точки зору можливості їх реалізації з використанням певної методології на основі аналізу п.1;

4) визначити роль та пріоритетність характеристик для ПЗ кожного типу з врахуванням цільового призначення та типу програмного проєкту шляхом визначення вагових коефіцієнтів для ПЗ різних типів та різного призначення. Саме вагові коефіцієнти повинні не давати можливості компенсувати низьке значення зrealізованості важливої характеристики високим значенням зrealізованості іншої, менш важливої, характеристики. Отже, значення вагових коефіцієнтів повинні бути підібрані таким чином, щоб при неможливості (або низькій можливості) реалізації важливої характеристики конкретного ПЗ певною методологією, ефективність методології для розроблення цього ПЗ дуже стрімко зменшувалась;

5) розробити інформаційну технологію оцінювання ефективності методологій розроблення для ПЗ певного типу.

Література

1. Хаф Л. Методологии разработки программного обеспечения [Електронний ресурс] / Л. Хаф. – Режим доступу: <http://compress.ru/article.aspx?id=11321>
2. Методологии разработки программного обеспечения [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://habrahabr.ru/sandbox/43802/>
3. Т.О. Говорущенко. Аналіз процесу вибору технології проєктування, методології та середовища розроблення програмного забезпечення / Т.О.Говорущенко, Р.А.Малярчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – №6. – С.186-196.
4. CHAOS Manifesto: Think big, act small – The Standish Group International: CHAOS Knowledge Center, 2013 – 52 p.
5. Разработка программного обеспечения: Методологии разработки программного обеспечения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bms-soft.com.ua/ru/services/razrabotka-programmnogo-obespecheniya/metodologii-razrabotki-po>
6. R.C.Martin. Agile Software Development, Principles, Patterns, and Practices / R.C.Martin, J.W.Newkirk, R.S.Koss – Prentice Hall: Upper Saddle River, 2002. – 752 p.
7. Обзор методологии разработки программного обеспечения SCRUM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dpgrup.ru/methodology-scrum.htm>
8. Choose the Right Software Method for the Job [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.agiledata.org/essays/differentStrategies.html>
9. Agile Succeeds Three Times More Often Than Waterfall [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.mountangoatsoftware.com/blog/agile-succeeds-three-times-more-often-than-waterfall>
10. Project Classification // Requirements Methodology Park – Software Education Group, 2008 – 14 p.
11. D.West. Water-Scrum-Fall is the reality of AGILE for most organizations today [Electronic resource] – Access mode: <http://www.slideshare.net/harsoft/water-scrumfall-isrealityofagileformost>

Рецензія/Peer review : 21.9.2015 p.

Надрукована/Printed :2.11.2015 p.
Рецензент: д.т.н., Поморова О.В.

ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ ПРЕДСТАВЛЕНИХ В УНІТАРНОМУ БАЗИСІ

Проблема використання інформаційних складових сигналу сучасних первинних перетворювачів витрати, які традиційно ґрунтуються на використанні імпульсних, амплітудних та частотних характеристик інформаційно-вимірювальних сигналів, що в той чи інший спосіб характеризують контрольований параметр ускладнюється впливом завад та різного роду спотворень, що зумовлює необхідність наукових досліджень та розробок, зокрема в області цифрового опрацювання сигналів.

При реалізації первинних перетворювачів витрати газу зазвичай представляють дані про дискретні об'єми вимірюваного середовища в унітарному базисі на основі одиничних імпульсів, які формуються перетворювачами герконного типу, магнітоіндуктивного, оптичного тощо. Одним з варіантів вирішення питання спотворення імпульсних вимірювальних сигналів є реалізація цифрових компактних засобів опрацювання на основі сучасних мікроконтролерів, що дозволяють задіяти математичний апарат статистичного оцінювання. Запропоновано застосування інформаційної ентропії, що не потребує використання АЦП, великих об'ємів пам'яті під масиви для обробки даних і забезпечує найкращу ефективність порівняно з іншими статистичними характеристиками.

Ключові слова: сигнал, перешкоди, статистичні характеристики, ентропія.

STEPAN IVANOVYCH MELNYCHUK, IRYNA ZINOVIIVNA MANULYAK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

STATISTICAL CHARACTERISTICS TO PROCESS PULSE SIGNALS EXPENSES COMPRISE PRIMARY CONVERTER IN A UNITARY BASIS

Abstract. The problem of the information signal components use into modern primary transducers costs traditionally based on the use of pulse, amplitude and frequency characteristics of information and measurement signals in one way or another characterize controlled setting is complicated by the influence of noise and various distortions that necessitates research and development in particular in digital signal processing.

In implementing the primary gas flow transducers are usually discrete data volumes measured environment in a unitary basis based on individual pulses are generated converters reed switch type magnetic inductance, optical and others. One solution to the issue of distortion of pulse measuring signals is the realization of compact digital processing means on the basis of modern microcontrollers, allowing use mathematical tools of statistical evaluation. Application of information entropy that does not require the use of ADC, large amounts of memory arrays for data processing and provides superior efficacy compared to other statistical characteristics.

Keywords: signal, obstacles, statistical characteristics, entropy.

Вступ

Загальна тенденція в розвитку вимірювальних перетворювачів, зокрема перетворювачів витрат, зумовлена збільшенням вимог точності при одночасному ускладненні експлуатаційних умов. Упровадження нових високоточних технологій обліку природного газу під час проведення комерційних розрахунків передусім зумовлює необхідність удосконалення апаратного, алгоритмічного та метрологічного забезпечення витратомірних комплексів та первинних перетворювачів, як їх компонентів. Така ситуація зумовлює необхідність проведення наукових досліджень з метою виявлення нових фізичних явищ та матеріалів, нових методів опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів, які б дозволили вирішувати задачі, що виникають в експлуатаційних умовах.

При реалізації первинних перетворювачів витрати газу традиційно використовують імпульсні перетворювачі, які представляють дані про дискретні об'єми вимірюваного середовища в унітарному базисі, а саме геркони, магніто-індуктивні, оптичні датчики, датчики Холла. Згадані пристрої зазвичай представляють дані про фіксовані переміщення мірного елемента. З появою і розвитком нових технологій, які дозволяють, після відповідного опрацювання (реалізується безпосередньо на замірній ділянці), подати дані в цифровій формі, інформативність та надійність первинних перетворювачів суттєво зростає.

При реалізації інформаційно-вимірювальних каналів та вузлів обліку на об'єктах нафтогазової промисловості, найпоширенішими є первинні перетворювачі швидкості газових середовищ, зокрема витратоміри турбінного типу, в яких основним джерелом інформації є датчик Холла, що формує імпульси зумовлені обертовими рухами мірного елемента, кількість яких пропорційна до поточної витрати [1]. Іншими пристроями, які часто використовуються в промисловості, є перетворювачі, в яких джерелом інформації про вимірювальний параметр є частота формування низькочастотних пульсацій (завихрень), яка перетворюється у відповідні коливання амплітуди електричного сигналу. Розвиток методів та засобів цифрового опрацювання сигналів зумовив створення акустичних ультразвукових перетворювачів. Згадані пристрої ґрунтуються на визначенні зміни швидкості ультразвукових коливань, яка залежить від переміщення вимірювального середовища. Є також пристрої, які широко використовуються при реалізації інформаційно-вимірювальних каналів. Принцип дії таких пристроїв ґрунтується на фрагментації

вимірювального середовища на фіксовані об'єми, що відповідають одному циклу ходу мірного елемента, зокрема роторні, барабанні, турбінні, кулькові, камерні. Використання мірних елементів, принцип перетворення інформації в яких ґрунтується на фіксації руху чутливих елементів (роторів, турбін, барабанів тощо) ґрунтується на унітарному базисі. На даний час в Україні експлуатуються понад 50 типів лічильників газу, які занесені до Державного реєстру /1/. Частина з них укомплектована давачами, які представляють вимірювану величину з імпульсним вихідним сигналом.

Крім того, сучасні розробки первинних перетворювачів з рухомими мірними елементами, в більшості випадків, представляють вимірювальні дані в унітарному базисі, що зумовлено конструктивними особливостями та методом вимірювання таких пристроїв, зокрема вимірювання витрати за переміщенням сферичної мітки [2], який здійснюється шляхом використання моменту сили, що прикладається до сферичної мітки в торовидній мірній камері і дозволяє забезпечити підвищення точності вимірювання, мінімізувати додаткові опори за рухом середовища, практично усунути вплив промислових завод та розширити робочий діапазон засобів вимірювання. За рахунок того, що вхід потоку здійснюється по дотичній за напрямком переміщення середовища, а вихід у протилежному – на внутрішньому і середньому радіусах мірної камери, величина моменту є практично постійною, що дозволяє забезпечити рух сферичної мітки за потоком по колу. Перетворивши такі переміщення за допомогою оптичного перетворювача в імпульсний сигнал за яким визначають зміну часових інтервалів між послідовними проходженнями мітки отримують величину, яка пропорційна до витрати середовища.

Перевагами унітарного базису в таких перетворювачах є порівняно нескладна реалізація процесів перетворення, кодування та декодування інформації. Точність перетворення фізичних величин в згаданих давачах мало залежить від швидкості переміщення мірного елемента (пазового колеса, лопатки ротора чи отвору диску) повз пристрій формування сигналів. Така конструкція дозволяє використовувати їх в інформаційно-вимірювальних каналах (ІВК) автоматизованих систем обліку газу.

Проте такий підхід при вимірюванні малих витрат характеризується низькою інформаційною ефективністю, оскільки потребує тривалого часу для формування відповідної кількості імпульсів, що в свою чергу збільшує ймовірність отримання хибного їх числа. У інформаційно-вимірювальних комплексах, які працюють в комплекті з лічильниками газу, що мають імпульсний вихідний сигнал в унітарному коді, практично відсутня можливість поновлення втраченої інформації та автоматичного коректування невірних даних при тимчасових розривах ІВК, сторонніх завадах чи відмовах обладнання.

З метою оцінювання можливих інформаційних втрат при використанні вище згаданих перетворювачів проведено ряд експериментальних досліджень робочих еталонів витрати газу типів: РЛ, РЛ, ЛГ, при вимірюваннях в контрольних точках діапазону [3]. Визначалась величина розбіжності кількості імпульсів – дискретних об'ємів (1), в межах однієї витрати за багатократних повторних спостережень, результати досліджень подані в таблиці 1:

$$\Delta_i = f(N_{\max i} - N_{\min i}) \tag{1}$$

де Δ_i – величини розбіжності кількості імпульсів від витрати газу;

$N_{\max i}, N_{\min i}$ – максимальна, мінімальна кількість імпульсів в і-тій точці діапазону.

У перетворювачах типу РЛ кількість імпульсів на м³ 146, звідки похибка буде складати 0,2%, для типу ЛГ кількість імпульсів на м³ 400, відповідно похибка до 0,3 %, для типу РЛ кількість імпульсів на м³ 10000, відповідно похибка до 1,6 %.

Таблиця 1

Усереднена величина розбіжності кількості імпульсів від витрати газу в робочих еталонах барабанного РЛ, роторного РЛ та турбінного ЛГ типів

РЛ	$Q(x)$	0,018	0,03	0,045	0,055	0,07	0,09	0,11	0,13	0,17	0,25	0,35	0,45	0,55
	$\Delta_i(y)$	5,3	5,8	5,5	5,0	5,6	6,0	5,7	5,6	5,7	6,0	5,8	5,5	6,0
РЛ	$Q(x)$	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	4,2	6,0	7,0	8,0	10,0	11,3
	$\Delta_i(y)$	1,8	1,8	2,0	1,9	1,8	11,0	4,0	2,0	6,9	1,9	11,9	4,0	7,8
ЛГ	$Q(x)$	14,0	17,1	22,3	38,4	72,3	123,4	178,9	224,7	260,1	590,5	995,3	1320,2	1732,1
	$\Delta_i(y)$	9,9	4,9	2,7	8,7	6,8	6,8	5,0	7,2	12,1	26,0	29,8	29,9	25,0

Наявність таких похибок може бути зумовлена різними факторами, зокрема неточне виготовлення чутливих елементів (скануючих дисків, зубчатих коліс тощо), нерівномірність газового потоку та перехідні процеси, які відбуваються при цьому, зміни сил тертя в механічних вузлах, а також недосконалістю вимірювального перетворювача, який також зазнає сторонніх впливів різних типів, що приводить до спотворення вихідного імпульсного сигналу. Крім того, використання згаданих пристроїв в промислових умовах ускладнюється впливом завод, зумовлених різного роду комутаціями. Фактично у (ІВК), які працюють в комплекті з лічильниками газу, що мають імпульсний вихідний сигнал в унітарному коді, практично відсутня можливість поновлення втраченої інформації та автоматичного коректування невірних даних при тимчасових розривах ІВК, сторонніх завадах чи відмовах обладнання.

Таким чином проблема використання інформаційних складових сигналу та ефективного кодування

потребує подальших наукових досліджень і розробок, зокрема в області опрацювання вимірювальних сигналів. Одним з перспективних напрямків може бути використання компактних цифрових систем, які б дозволили використовувати сучасний математичний апарат для зменшення інформаційних втрат в первинних перетворювачах та інформаційно-вимірювальних каналах.

Експериментальна частина

Сучасні цифрові засоби застосовуються для вимірювань практично всіх параметрів фізичних величин як у промисловості, так і у наукових дослідженнях. З метою уніфікації елементної бази та забезпечення певних зручностей в користуванні, фізичним носієм вимірювальної інформації у них прийнято електричні сигнали, які мають ряд суттєвих переваг, а саме: універсальність, дистанційність, науково обґрунтовані і практично підтвержені методи та засоби опрацювання, можливість реєстрації швидкоплинних процесів, простота узгодження із засобами мікропроцесорної техніки. Цифрові вимірювальні засоби (рис. 1) в загальному випадку складаються із вхідного аналогового перетворювача АП вимірюваної величини X в електричну вихідну величину Y , аналого-цифрового перетворювача АЦП та формувача кодових елементів ФК, що і визначило їх основну роль у вимірювально-обчислювальних комплексах [4].

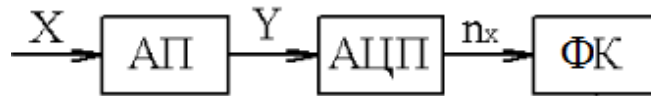


Рис. 1. Узагальнена структурна схема цифрового вимірювального приладу

В ході проведення досліджень використано дослідний взірець первинного перетворювача витрати газу [2], джерелом інформації про вимірюваний параметр якого є імпульсний перетворювач оптичного типу. Фрагмент реалізації інформаційно-вимірювального сигналу з наявними завадами та спотвореннями, зумовленими конструктивними особливостями засобу та комутаціями подана на рисунку 2 а. Фрагмент деталізованої форми імпульсного сигналу представлено на рисунку 2 б. Як можна побачити, використання порогового оцінювання не дозволяє забезпечити однозначне розділення інформаційних імпульсів та завад, узагальнено на точність опрацювання сигналів впливають такі чинники як втрата сигналу та поява не вимірювальних імпульсів при накладанні завад тощо [5].

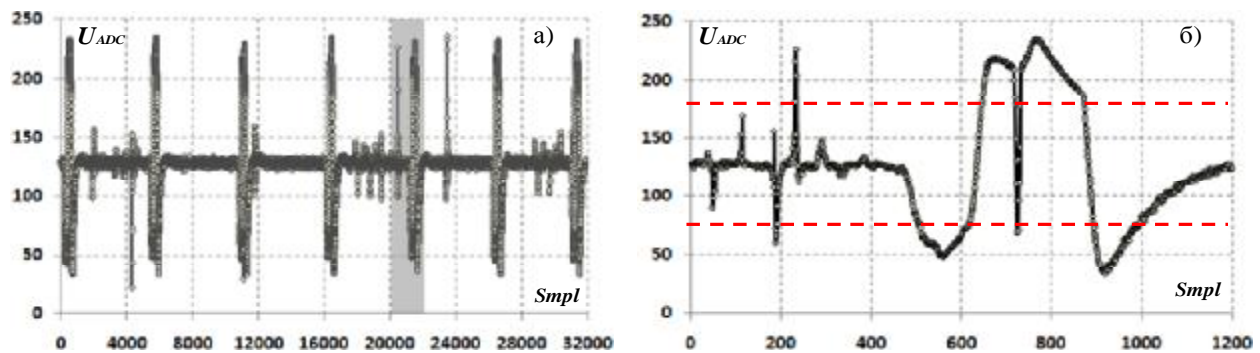


Рис. 2. Реалізації: а) імпульсний вимірювальний сигнал; б) одиничний імпульс із завадами та спотвореннями

Одним з методів зменшення сторонніх впливів є зниження вагового значення одиничного імпульсу, а також використання спеціалізованих аналогових схемотехнічних рішень, які ґрунтуються на використанні нелінійних елементів, що характеризуються вузьким діапазоном та флуктуацією власних параметрів, для послаблення не вимірювальних сигналів. Проте згаданий підхід приводить до зростання вимог до апаратної частини використовуваних приладів, складності налаштувань, додаткових обрахунків тощо. Крім того багатомільйонний парк лічильників, що уже експлуатуються практично унеможлиблює реалізацію їх заміни на сучасні цифрові перетворювачі. В такій ситуації ефективними можуть бути рішення спрямовані на їх часткову модернізацію, зокрема використанні мікроконтролерів, які мають у своєму складі АЦП та достатні обчислювальні можливості, що дозволяє опрацьовувати сигнали та оцінювати їх характеристики. Одним з варіантів вирішення проблем пов'язаних з використанням унітарного базису, при опрацюванні імпульсних сигналів є використання їх статистичних характеристик, зокрема математичне сподівання M_x , дисперсії D_x , середньоквадратичне відхилення S_x та ентропію H_x , які обчислюються за такими формулами [6]:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum x_i p_i, \quad D_x = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2, \\ S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad H_x = \sum p_i \cdot \log\left(\frac{1}{p_i}\right). \quad (2)$$

В результаті чисельного моделювання на основі експериментально отриманих, в промислових

умовах, реалізації імпульсних сигналів здійснено дослідження статистичних характеристик M_x , D_x , S_x та H_x . В ході опрацювання імпульсний вимірювальний сигнал оцифровувався 16-ти розрядним АЦП, після чого формувались цифрові інформаційні пакети фіксованої довжини за якими розраховувались відповідні статистичні оцінки [7].

В ході дослідження розроблено алгоритмічне забезпечення, яке дозволяє розраховувати відповідні статистичні оцінки для різних розмірів фрагментів сигналу а також моделювати (зменшувати) розрядність АЦП, зокрема блок-схеми обчислення інформаційної ентропії подано на рисунку 3. Крім того в [8] авторами запропоновано оптимізацію алгоритму обчислення функції логарифму, що не потребує використання розкладу в ряд Тейлора і дозволяє забезпечити похибку обчислення, яка на порядок менша порівняно з величиною розсіювання ентропійних оцінок досліджуваного сигналу.

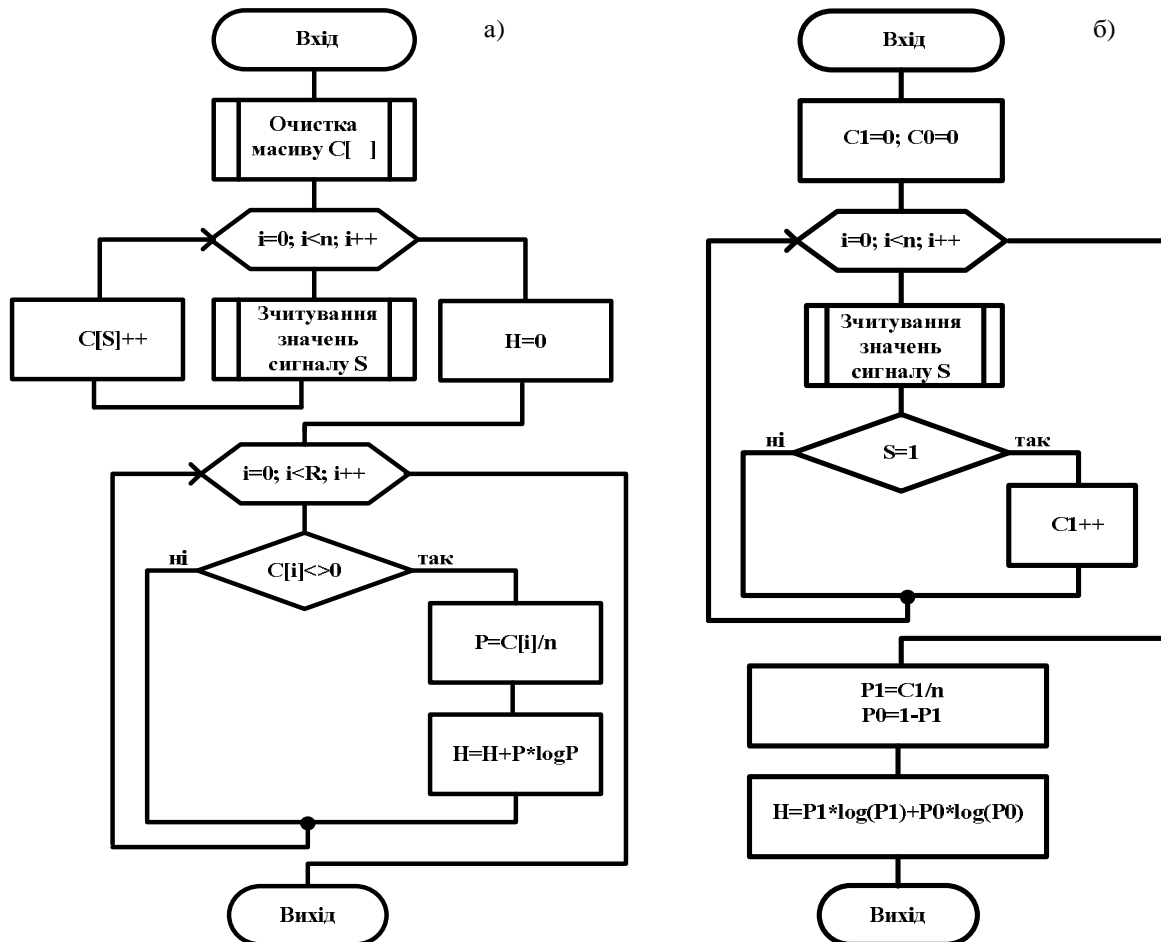
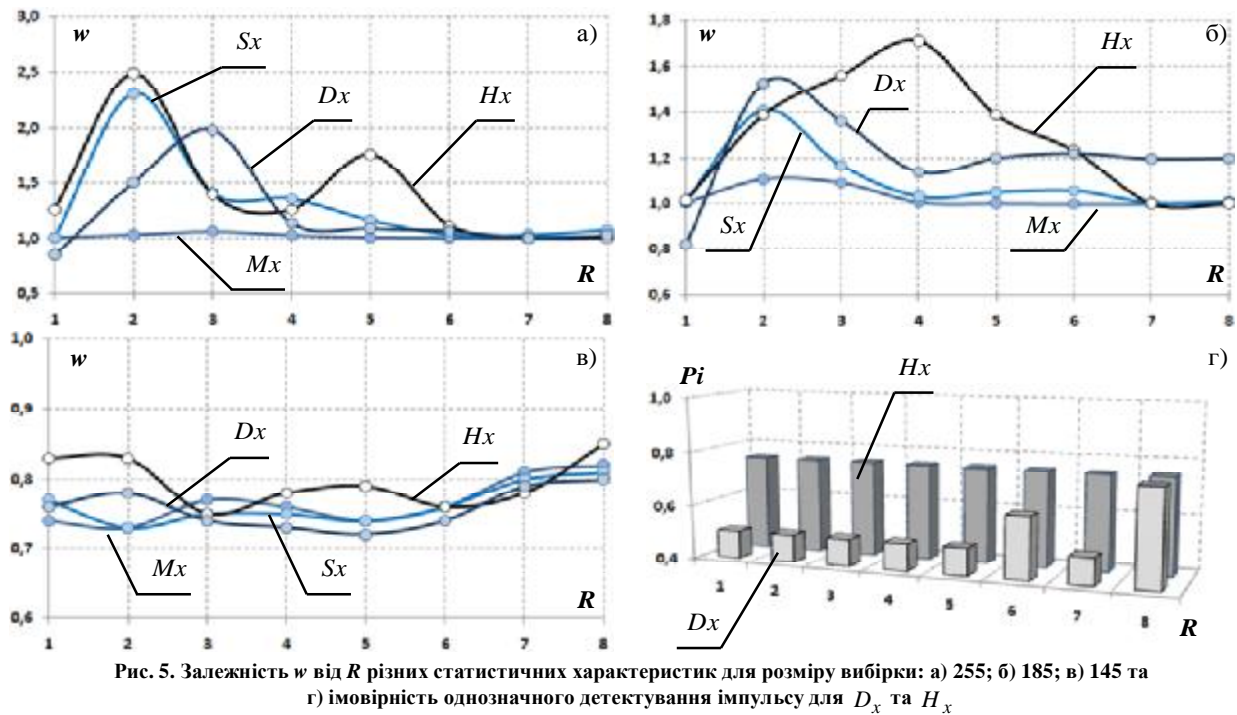
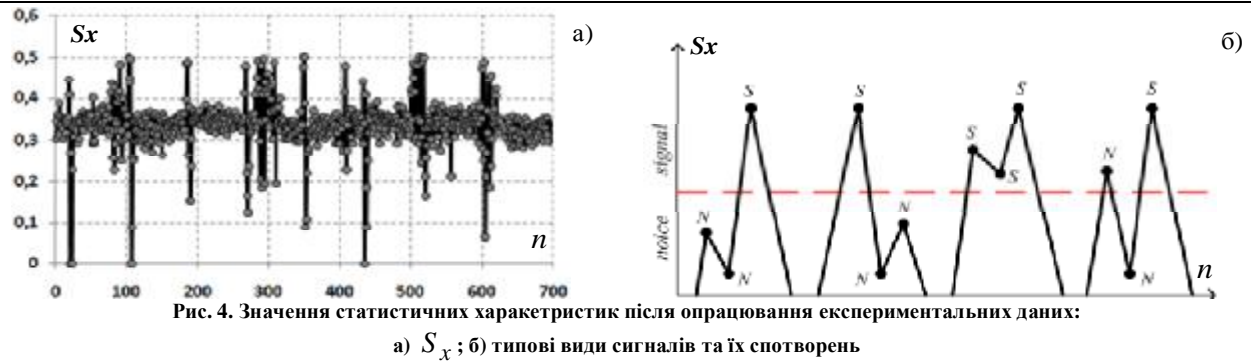


Рис. 3. Блок-схеми для розрахунку оцінок ентропії при а) R-станах АЦП; б) 2 станах АЦП (компаратор)

В ході опрацювання експериментальних реалізацій сигналу оцінювались мінімальні значення статистичних характеристик, що отримуються для вимірювальних імпульсів, а також максимальні значення таких характеристик для фрагментів із завадами. Опрацьовано статистичні характеристики для різних розмірів вибірки та різної розрядності, зокрема модельовано АЦП від 1-но до 8-ми розрядного та фрагменти розміром 255, 185, 145 та 105 спостережень амплітуд сигналу. Приклад сформованої статистичної характеристики СКВ сигналу оптичного перетворювача при моделюванні 2-ох розрядного АЦП для фрагменту вибірки сигналу 255 елементів подано на рисунку 4 а.

На основі отриманих результатів проведено узагальнення наявних форм статистичних характеристик, що представляють реалізації сигналів за наявності та відсутності у завадах компонент імпульсного характеру, які подано на рисунку 4 б.

За результатами дослідження в чисельному експерименті встановлено, що зі зменшенням розміру вибірки кількість сигналів, що можна однозначно ідентифікувати при опрацюванні зменшується, зокрема при розмірі фрагменту 255-185 елементів імовірність коректної ідентифікації складає 1, для фрагментів 184-145 – не перевищує 0,75 і при зменшенні до 100 – 0.62, що фактично є неприйнятним при реалізації інформаційно-вимірювальних систем. Крім того, з метою оцінки можливого зменшення апаратних затрат проведено аналіз впливу розрядності АЦП на адекватність виділення вимірювальних сигналів з їх статистичними характеристиками. Результати згаданих досліджень подано на рисунку 5, де w – відношення мінімального значення статистичної характеристики фрагменту амплітуд сигналу до максимального значення статистичної характеристики сигналу спотвореного завадами, в залежності від розрядності R.



Як можна побачити, використання статистичних оцінок практично в усіх випадках дозволяє забезпечити виділення інформаційно-вимірювальних імпульсних сигналів, проте для випадку використання однорозрядного АЦП, тобто компаратора, оцінки інформаційної ентропії характеризуються найкращою імовірністю однозначного детектування сигналів (див. рис. 5 г). Слід зазначити, що при використанні оцінок центральних моментів вищих порядків, результати досліджень яких не наведено оскільки вони сумірні, в окремих випадках суттєво гірші, порівняно з S_x .

За результатами проведених досліджень запропоновано алгоритм опрацювання імпульсних сигналів на основі розрахунку оцінок інформаційної ентропії амплітуд їх послідовних фрагментів (див. рис. 3 б), який використовує компаратор, лічильник і функцію розрахунку ентропійної оцінки, що фактично дозволяє задіяти мікроконтролери без АЦП-перетворювачів і, як наслідок, збільшити швидкість опрацювання та спростити схемну реалізацію цифрового пристрою опрацювання сигналів.

Висновки

Реалізація алгоритмів статистичного опрацювання сигналів на базі цифрових мікроконтролерних підсистем дозволяє вирішити ряд задач пов'язаних з модернізацією первинних перетворювачів, зокрема з обліку газу, які уже експлуатуються, реалізованих на основі унітарного базису. В ході проведених досліджень підтверджені перспективність запропонованого підходу, а також встановлено, що використання оцінок інформаційної ентропії, при опрацюванні імпульсних амплітудних сигналів, забезпечує найбільше відношення w сигнал/завада за однокового розміру фрагменту для випадку використання компаратора. Крім того, схемотехнічне рішення запропонованого підходу не потребує використання АЦП і додаткових об'ємів пам'яті під масиви для опрацювання даних.

Література

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / Под общ. ред. Е. А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.: ил.

2. Патент на винахід №97780 «Спосіб вимірювання витрати за переміщенням сферичної мітки вимірюваним середовищем». Мельничук С.І., Мазурик І.З., Яковин С.В. 12.03.2012.
3. Пістун Є. П. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. / Є.П. Пістун, Л.В. Лесовой. – Львів: Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. – 576 с.
4. Стенцель Й.І. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості / Й. І. Стенцель, В. В. Тіщук. – Луганськ: Східноукраїнський держ. ун-т, Северодонецький технологічний ін-т, 2000. – Ч.1. – 263с.
5. Жураковський Ю.П. Теорія інформації кодування: [підручник] / Ю.П. Жураковський, В.П. Полторака. – К.: Вища шк., 2001. – 255с.
6. Заде Дж. Теория информации и её приложения (сборник переводов под ред. А.А. Харкевича) / Дж. Заде, Р. Хартли, К. Шеннон и др. – М.: Физматгиз, 1959. – 328 с.
7. Пряха Б.Г. Про числові характеристики результатів вимірювань / Б.Г. Пряха // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2008. – 243 с.
8. Мельничук С.І. “Оптимізація алгоритму обчислення оцінок інформаційної ентропії випадкових сигналів для цифрових засобів обміну даними”. / С.І. Мельничук, М.І. Коропецька, І.З. Мануляк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015 . – №3. – С. 141-148.

Рецензія/Peer review : 28.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Заміховський Л.М.

УДК 004.031

А.П. ПОНОМАРЕНКО, С.С. КОВАЛЬЧУК

Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУЧАСНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ І КОМПЛЕКСАХ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

У статті наведені визначення комплексних, комбінованих, інтегрованих і синергетичних технологій. Проведено аналіз існуючих обчислювальних систем та комплексів в галузі будівництва та архітектури. Розкрито необхідність розробки нових програмних продуктів або модулів до існуючих САПР.

Ключові слова: інформаційні технології, САПР, будівництво, архітектура

A.P. PONOMARENKO, S.S. KOVALCHUK
Khmelnitsky National University, Khmelnytsky, Ukraine,

INFORMATION TECHNOLOGIES IN MODERN COMPUTER SYSTEMS AND COMPLEX CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Abstract -In the article the analysis of existing computer systems in the field of construction and architecture was given. The necessity to develop new systems or to improve existing one was grounded.

The definitions of complex, combined, integrated and synergetic technologies were provided in this article. The analysis of existing computer systems and complexes in the field of construction and architecture on the usage of these technologies in them was performed. The requirement to develop new software products or modules to existing CAD systems on the basis of integrated technologies' structure was proved. A general pattern of the integrated construction and architecture technologies' structure was carried out.

The necessity to develop new software products or modules to existing CAD systems in order to ensure full compliance with the structure of integrated technologies in the field of construction and architecture under the BIM approach was determined basing on the studies of existing CAD systems' structure and construction technologies.

Keywords: information technologies, CAD system, construction, architecture

Вступ

Внаслідок інтенсивного розвитку техніки протягом ХХ і на початку ХХІ століття нові та досить ефективні технології для одного покоління виробників і споживачів продукції ставали в подальшому застарілими і не завжди задовольняли зростаючі потреби часу і ринку. Це зумовило необхідність не тільки в розробці нових технологій, скільки у розвитку нових підходів до їх розробки. При цьому використовуються різні види технологій - комплексні, комбіновані, інтегровані, синергетичні та інші. [1]

Технологія - це комплекс наукових та інженерних знань, реалізованих у прийомах праці, наборах матеріальних, технічних, енергетичних, трудових факторів виробництва, способах їх поєднання для створення продукту або послуги, що відповідають певним вимогам [2].

Згідно визначення, прийнятого ЮНЕСКО, інформаційна технологія - це комплекс взаємозалежних наукових, технологічних, інженерних дисциплін, що вивчають методи ефективної організації праці людей, зайнятих обробкою і зберіганням інформації; методи організації і взаємодії з людьми і виробничим устаткуванням а також пов'язані з усім цим соціальні, економічні та культурні проблеми.

Інформаційна технологія повинна відповідати таким вимогам [2]:

- забезпечувати високу ступінь поділу всього процесу обробки інформації на етапи (фази), операції, дії;

- включати весь набір елементів, необхідних для досягнення поставленої мети;

- мати регулярний характер. Етапи, дії, операції технологічного процесу можуть бути стандартизовані й уніфіковані, що дозволить більш ефективно здійснювати цілеспрямоване управління інформаційними процесами.

Інструментарій інформаційної технології - один або декілька взаємозалежних програмних продуктів для певного типу комп'ютера, технологія роботи в яких дозволяє досягти поставленої мети.

Для інформаційних технологій цілком природним є те, що вони застарівають і замінюються новими.

Цілі статті

Ознайомитись з термінами «комплексні», «комбіновані», «інтегровані», «синергетичні» технології. Провести аналіз існуючих обчислювальних систем та комплексів в галузі будівництва та архітектури на наявність використання в них вказаних технологій. Розкрити необхідність розробки нових програмних продуктів або модулів до існуючих САПР на базі відповідної інформаційної технології.

Основна частина

В технічній літературі наводиться велика кількість визначень таких понять як комплексні, комбіновані, інтегровані і синергетичні технології. Ці визначення постійно доповнюються, уточнюються і вдосконалюються, так як з'являються нові технології, що враховують і використовують взаємодію все більшої кількості факторів. Іноді ці поняття використовуються як синоніми, що вказує на наявність у них загальних ознак. [1]

Під комплексними технологіями розуміють систему або сукупність систем за окремими видами робіт, що мають спільне призначення, об'єднаних разом і відповідають певній меті. Дана група технологій може безпосередньо не впливати на якість продукції, але впливає на величину витрат часу і коштів на її виробництво, таким чином забезпечуючи її економічну ефективність.

Комбіновані технології передбачають комбінацію (поєднання) різноманітних систем (процесів) в одній системі (процесі) для забезпечення необхідних технічних характеристик продукції. Таким чином, системи, побудовані на основі даної технології, складаються з двох і більше окремих технологічних процесів (систем), кожен з яких може застосовуватися самостійно, але при цьому не забезпечує необхідної якості продукції або вимагає значних витрат часу та коштів на її розробку.

Синергетичні технології забезпечують сумарний результат взаємодії двох або більше процесів, при цьому отриманий ефект істотно перевершує ефект виконання процесів окремо (одночасно або послідовно). Під синергією розуміється взаємне посилення або послаблення ефектів, а також прояв нових ефектів від взаємодії різноманітних чинників, наприклад – знання та зусилля кількох виконавців можуть організуватися таким чином, що вони взаємно посилюються; Ці технології дозволяють спроектувати технологічний процес, в ході якого проявляються кілька підсилюючих один одного ефектів.

Інтегровані технології передбачають об'єднання різноманітних частин (систем) в єдине середовище залежно від контексту для підтримки розробки всього життєвого циклу продукції, або, як мінімум, всього циклу її розробки. Дані технології можуть забезпечувати об'єднання даних, що знаходяться в різних джерелах і надавати результуючі дані користувачам. Характерною для створення інтегрованих технологій є орієнтація на потреби ринку і робота в умовах спільного проведення науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт.

Загальна схема структури інтегрованих технологій (стосовно до галузі будівництва та архітектури) наведена на рисунку 1.

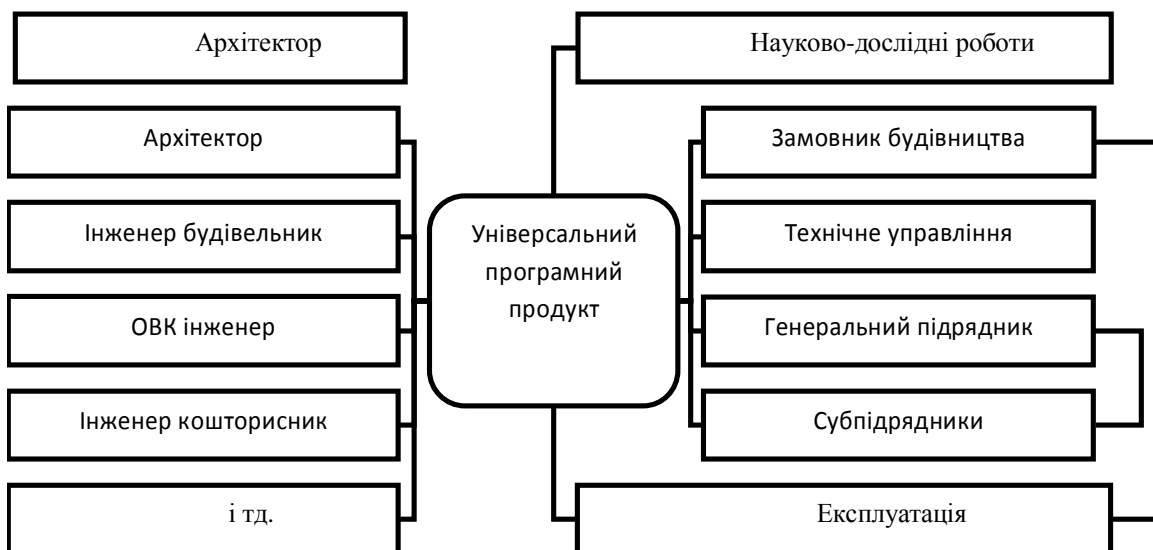


Рис. 1. Загальна схема структури інтегрованих технологій (стосовно до галузі будівництва та архітектури)

Основною особливістю комплексних, комбінованих, інтегрованих, синергетичних технологій та їх спільною рисою є пошук, створення і використання синергетичної взаємодії між процесами, що в загальному випадку впливають на прийняття і виконання управлінських, конструкторських, технологічних, організаційних рішень, що діють на всіх етапах життєвого циклу продукції.

Ці технології можуть бути об'єднані одним визначенням – інформаційні технології, які забезпечують сукупність процесів збору, передачі, обробки, створення, зберігання і доведення до користувачів інформації, що реалізуються за допомогою сучасних програмних засобів.

На даний час для виконання робіт у сфері будівництва та архітектури існує великий вибір інформаційних технологій (програмного забезпечення). Ці програмні засоби різняться за своєю структурою та цільовим призначенням [3].

У таблиці 1 наведено аналіз існуючих обчислювальних систем та комплексів в галузі будівництва та архітектури на наявність використання в них наступних інформаційних технологій: комплексних, комбінованих, синергетичних, інтегрованих.

Таблиця 1

Аналіз САПР в галузі будівництва та архітектури на наявність використання в них наступних інформаційних технологій: комплексні (ІТ1), комбіновані (ІТ2), синергетичні (ІТ3), інтегровані (ІТ4).

САПР галузі будівництва та архітектури	ІТ1	ІТ2	ІТ3	ІТ4
ARCHICAD	●	-	●	●
ArCon Eleco +2014 PROF	-	●	●	-
ArCon Eleco Small Business	●	●	-	-
ArCon Home 2 RUS (Визуальна архітектура)	●	●	-	-
ArCon RealTimeRenderer	●	-	-	-
ArCon-Разбреновка	●	●	-	-
Artlantis	●	-	-	-
AutoCAD	-	●	●	-
AutoCAD Architecture	●	●	●	-
AutoCAD Design Suite Premium	●	●	●	-
AutoCAD LT	●	●	●	-
Autodesk 3ds Max	●	-	-	-
Autodesk Building Design Suite	-	●	●	●
Autodesk Design Review	●	-	-	-
Autodesk Revit	-	●	●	●
Autodesk Softimage	●	-	●	-
bCAD Чертеж	●	-	-	-
Bentley Architecture	-	●	●	●
BricsCad V12	●	●	-	-
CADprofi	-	●	●	-
Creative Lines	●	-	-	-
GeoBL	●	-	-	-
HouseCreator	●	●	-	-
Lumion Act-3D	●	-	-	-
MagiCAD	-	●	●	-
Mental ray	●	-	-	-
TangenTools	●	-	-	-
ViSoft Premium	●	-	-	-
V-Ray 3.0 для Autodesk 3ds Max	●	-	-	-
ZWCAD+2015 Professional Version	-	●	●	-
Аркулятор – 5.1	●	-	-	-
АРФАКАД	●	●	-	-
Базис-Салон	●	●	-	-
Визикон ПРО 1.3	●	●	-	-
КЗ-КОТТЕДЖ	●	●	-	-
ПП "КАФЕЛЬ" 6.0	●	-	-	-

На основі аналізу визначень комплексних, комбінованих, синергетичних, та інтегрованих технологій можна зробити висновок, що межі застосування цих технологій перекриваються, так як відсутні чітко визначені критерії та межі для віднесення того чи іншого програмного продукту до конкретної інформаційної технології. Тому при розгляді існуючих САПР в галузі будівництва та архітектури в залежності від їх функціональних можливостей та структурного забезпечення відповідні програмні продукти віднесені одночасно до декількох технологій.

Найближчими до використання інтегрованих технологій, як найбільш перспективних для

подальшого розвитку (застосування при розробці програмних продуктів) є САПР, основані на підходах BIM, так як даний підхід передбачає збір та комплексну обробку в процесі проектування всієї архітектурно-конструкторської, технологічної, економічної та іншої інформації про будівлю з усіма її взаємозв'язками та залежностями, коли будівля і все, що має до неї відношення, розглядаються як єдиний об'єкт [3].

Це такі САПР як: ARCHICAD, Bentley Architecture, Autodesk Building Design Suite, Autodesk Revit.

Розглянуті сучасні системи акцентують увагу в основному на розробці архітектурних та конструкторських рішень, лише деякі звертають увагу на інші (спеціалізовані) розділи будівель та споруд без безпосередньої ув'язки їх в одне ціле як систему, відсутній зв'язок між проектуванням об'єктів будівництва та їх реалізацією. Дані САПР не в повній мірі забезпечують відповідність структурі інтегрованих технологій в галузі будівництва та архітектури.

Висновки

Загальними ознаками комплексних, комбінованих, інтегрованих і синергетичних технологій є їх орієнтація на створення конкурентоспроможної продукції на ринку за рахунок забезпечення відповідного техніко-економічного рівня.

Процеси розробки і впровадження інформаційних технологій в галузі будівництва та архітектури на даний час не стандартизовані саме в силу необхідності врахування великої кількості різноманітних факторів.

На основі дослідження структури та технологій побудови існуючих САПР визначено необхідність розробки нових програмних продуктів або модулів до існуючих САПР з метою забезпечення повної відповідності з структурою інтегрованих технологій в галузі будівництва та архітектури згідно підходу BIM.

Література

1. Джур Е.А. Комплексные, комбинированные, интегрированные и синергетические технологии в машиностроении / Джур Е.А., Проволоцкий А.Е., Фесенко А.Г., Бондаренко И.И., Бондаренко О.В. // Сборники научных работ НТУ "ХПИ" : Високі технології в машинобудуванні. – 2010. – №1 – С. 65–78.
2. Макарова Н. В. Информатика : учебник для студ. вищ. учеб. заведений / Н. В. Макарова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 768 с.
3. Сучасні обчислювальні системи і комплекси в технологічних процесах будівництва та архітектури : матеріали XV міжнар. наук.-техн. конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (Одеса, 10-14 вересня 2015р. / Одеська нац. акад. зв'язку ім. О.С. Попова. – Одеса-Хмельницький: ХНУ, 2015. – 103 с.

Рецензія/Peer review : 25.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 2.11.2015 р.

Рецензент: д. т. н., професор Сорокати Р.В.

РОЗРОБКА МЕТОДУ КЛАСИФІКАЦІЇ СТУДЕНТІВ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ПРЕЦЕДЕНТІВ В АДАПТИВНІЙ НАВЧАЛЬНІЙ СИСТЕМІ

Розглянуто стан, проблеми і перспективи розробки адаптивної системи дистанційної освіти. Запропоновано метод класифікації студентів на основі кластерного аналізу прецедентів, побудований шляхом застосування матриці сценарних прикладів, який дозволяє проводити успішне адаптивне навчання студентів в залежності від їх поточних навчальних успіхів та структури навчального матеріалу. Розроблена математична модель адаптивного управління навчанням студента та описана практична реалізація запропонованого методу.

В роботі запропоновано метод класифікації студентів на основі кластерного аналізу прецедентів, що застосовується в дистанційній навчальній системі для адаптивного навчання студентів. Побудована матриця сценарних прикладів та виконано групування студентів на основі 5-ти категорій, що дозволяє управляти найбільш типовими ймовірнісними переходами студента по навчальних режимах. Розроблена математична модель адаптивного управління навчанням студента та описана практична реалізація запропонованого методу.

Ключові слова: адаптивне навчання, метод класифікації, кластерний аналіз, прецедентне правило.

M.V. PIKULYAK

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF CLASSIFICATION OF STUDENTS ON THE BASIS OF CLUSTER ANALYSIS OF PRECEDENTS IN THE ADAPTIVE EDUCATIONAL SYSTEM

Abstract – In the article the author describes the method of classification of students on the basis of cluster analysis of precedents, that is used in distance educational system for the adaptive learning of students.

The matrix of scenario examples is created, that allows conducting successful adaptive learning of students according to their academic success and current structure of educational material.

A cluster analysis is carried out performed and grouping of students is performed based on 5 categories, which allows to manage the most typical probabilistic transitions of a student through educational regimes.

A three digit mathematical apparatus of logic for automatic number identification of educational regime is offered that gives an opportunity to generate educational quanta based on mathematical representation of the knowledge structure and automatically create an individualized adaptive content. A mathematical model of adaptive learning management is developed and practical implementation of the offered method is described.

Keywords: adaptive learning, model of a student, method of classification, cluster analysis, precedent rule.

Вступ

Питанню розробки адаптивних навчальних систем в даний час приділяється все більше уваги, оскільки впровадження подібних навчальних продуктів в освітній процес, а особливо з поширенням дистанційної форми навчання, набуває все більш вагомого значення в навчальному процесі.

Оскільки різні студенти підходять до початку процесу вивчення нової порції інформації (кванта знань) з різним початковим рівнем знань, то використання адаптивних технологій під час автоматизованого навчання дозволяє індивідуалізувати навчальний процес як за рахунок врахування особистих характеристик студента, відношення його до сприйняття різного роду нових знань так і врахуванням поточних навчальних успіхів.

В роботі вирішується задача класифікації студентів, тобто запропоновано розбиття всіх студентів на групи за результатами поточної тестової перевірки, що дозволяє індивідуалізувати процес дистанційної освіти.

Постановка задачі

Задача кластеризації відноситься до статистичної обробки та дозволяє виконати збір даних, що містять інформацію про вибірку об'єктів, і потім впорядковувати об'єкти в порівняно однорідні групи [1].

Для вирішення практичних задач кластеризації застосовують різні класифікаційні методи [2]:

- бейєсівські методи класифікації;
- метричні методи класифікації;
- лінійні методи класифікації (метод стохастичного градієнту, метод логістичної регресії, метод опорних векторів);
- штучні нейронні мережі.

Запропонований в роботі метод кластеризації із застосуванням прецедентного підходу дозволяє не тільки сформувати класи студентів на основі аналізу міри близькості, а й в процесі побудови індивідуальної навчальної траєкторії використати знання про попередні навчальні ситуації та випадки, а також надати допомогу в прийнятті навчальних рішень у процесі засвоєння нових знань.

Кластерний аналіз прецедентів

Запропонований в роботі метод полягає в тому, що за відомою множиною сценарних прикладів (прецедентних рішень) $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ та з використанням функції відстані між прецедентами

$P(X, X_i)$ вирішується задача кластеризації студентів за результатами перевірки поточного рівня їх знань.

Кожний сценарний приклад представлений предикатним правилом:

$$\text{ЯКЩО } P_1 \text{ і } P_2 \text{ і } \dots \text{ і } P_j, \text{ ТО } R_k,$$

де P_i – студентські параметри, R_k – номер відповідного правила [3].

Математично даний метод дозволяє проаналізувати функціональні залежності між вхідними та вихідними параметрами навчальної системи, в результаті чого відбувається адаптація системи до поточного рівня навченості студента.

Для формалізації методу необхідна послідовна реалізація наступних інформаційних процесів [4]:

1) вхідні параметри представлені масивом прецедентів, що накопичені як за рахунок змодельованих випадків, так і випадками з практики навчальної поведінки студентів:

$$X_i \rightarrow F_1 [X_i, X_{i-1}, \dots, X_{i-j}, \dots, X_{i-n}], \quad (1)$$

де X_i – окремий прецедент. Дана сукупність утворює матрицю прецедентів.

2) вихідні параметри формуються на основі інформації з багатопараметричної моделі студента, що описується:

а) $G_i \rightarrow F_2 [G_1, G_2, \dots, G_l]$ – характеристики, що відображають початковий рівень розуміння студентом курсу, що вивчається;

б) $P_i \rightarrow F_3 [P_1, P_2, \dots, P_k]$ – параметри, що характеризують поточний рівень набутих нових знань.

3) у випадку появи невідомої навчальної ситуації поведінки студента у системі відбувається пошук подібного прецедента, який використовується в ролі аналога з метою його адаптації до поточного випадку:

$$X_i \equiv X_{i-j} = F_4 \begin{cases} 1, & j = j+0 \\ 0, & j = j+1 \end{cases},$$

де 1 – наявність прецедента X_i в масиві (1), 0 – відповідно відсутність прецедента X_i в масиві (1); $j = j+1$ – відповідно нарощення бази прецедентів.

Після того, як нова ситуація буде опрацьована, вона вноситься в базу прецедентів разом зі своїм вирішенням. Завдяки цьому база прецедентів інкрементно розширюється і у випадку ефективного застосування нового елемента для моделювання навчальної траєкторії студента, прецедент, який відповідає опису створеної ситуації, використовується в аналогічних випадках для інших студентів.

Таким чином, загальна формалізація представляється інформаційною технологією конвеєрного виконання функціоналів [4]:

$$F_{AH} = F_1(t) \Rightarrow F_2(t) \Rightarrow F_3(t) \Rightarrow F_4(t) \begin{cases} [j = j+0, & X_j \neq \{X_i, X_{i-1}, \dots, X_{i-j}, \dots, X_{i-n}\}] \\ [j = j+1, & X_j \equiv \{X_i, X_{i-1}, \dots, X_{i-j}, \dots, X_{i-n}\}] \end{cases}$$

Система, побудована за таким принципом є самонавчальною: чим більше прецедентів міститься в базі, тим ширший спектр їхніх можливих значень, тим вища ймовірність знайти найбільш адекватний прецедент по функціональних характеристиках та оптимізаційних параметрах, отже, вища якість прийнятого рішення [5].

Побудова бази даних прецедентів

Стан окремого студента в момент часу t представимо у вигляді

$$Y(t) = (M, K_n(t)),$$

де M – модель студента, побудована на множині P_i ;

$K_n(t)$ – кількість квантів інформації, вивчених за час t .

Позначимо через $Y(t), Y(t+1)$ – стан студента до і після взаємодії із системою. Адаптивну взаємодію системи із студентом визначимо як $U(t) = (H_k(t))$, де $H_k(t)$ – послідовність навчальних кроків.

Для оцінки результатів навчання побудуємо множину класів станів студента відповідно до критеріїв $Q = \{Q_l, Q_{pr}\}$, де Q_l – клас, до якого відноситься стан студента після сеансу навчання; Q_{pr} – клас, якого можна було досягти за прогнозом навчальної системи.

Результатом навчання будемо називати функцію $I(t) = IP\{Q_l, Q_{pr}\}$, де $IP\{Q_l, Q_{pr}\}$ – функція оцінки якості навчання.

Таким чином, прецедент представляє собою наступний набір даних:

$$PR(t) = (Y(t), U(t), Y(t+1), I(t)).$$

Оскільки в основу дослідження моделі студента покладено аналіз 5-ти параметрів P_i (P_i –

загальний рівень засвоєння навчального матеріалу; P_2 – глибина знань; P_3 – ступінь засвоєння матеріалу; P_4 – якість засвоєння матеріалу; P_5 – час, витрачений на навчання), кожен з яких приймає значення з множини $\{H, C, B\}$, що визначена на проміжку $[0..1]$ («низький» – $[0..0,4)$, «середній» – $[0,4..0,8)$ та «високий» – $[0,8..1]$ відповідно), то загальна кількість можливих прецедентів N дорівнює: $N = 3^5 = 243$. Це значення отримано на основі комбінаторного принципу добутку про кількість заповнення 5-ти місць трьома елементами. З метою скорочення кількості прецедентів використана теорія розбиття натуральних чисел на цілі невід’ємні доданки, яка дозволяє побудувати 21 базовий прецедент та виконати групування по 6 категоріях (табл. 1).

Таблиця 1

Групова класифікація студентів з прив’язкою до режиму навчання

№ за/п	Група	$H + C + B = 5$	Ймовірність вибору режиму		
			R_1	R_2	R_3
1	1	5 0 0	0,9	0,05	0,05
2		4 1 0	0,8	0,1	0,1
3		3 2 0	0,6	0,3	0,1
4		2 3 0	0,3	0,6	0,1
5		4 0 1	0,8	0,1	0,1
6	2	3 1 1	0,6	0,2	0,2
7		2 2 1	0,4	0,4	0,2
8		2 1 2	0,4	0,2	0,4
9		1 4 0	0,1	0,8	0,1
10		1 3 1	0,2	0,6	0,2
11	3	0 5 0	0,05	0,9	0,05
12		0 4 1	0,1	0,8	0,1
13		0 3 2	0,1	0,6	0,3
14	4	1 1 3	0,2	0,2	0,6
15		1 2 2	0,2	0,4	0,4
16	5	0 0 5	0,05	0,05	0,9
17		0 1 4	0,1	0,1	0,8
18		1 0 4	0,1	0,1	0,8
19		0 2 3	0,1	0,3	0,6
20	6*	3 0 2	0,05	0,05	0,05
21		2 0 3	0,05	0,05	0,05

* – клас неіснуючих (аномальних) прецедентів.

Побудоване групування на основі 5-ти категорій дає можливість управляти найбільш типовими (класичними) ймовірнісними переходами студента по навчальних режимах.

Для підрахунку матриці відстаней між елементами P_i використана метрика Евкліда

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2},$$

застосування якої дозволяє підрахувати середню різницю відстаней між різними параметрами та побудувати 6 класів прецедентів.

У результаті проведених експериментальних досліджень різних груп та студентів різного рівня знань кожен параметр P_i проаналізований з точки зору впливу на загальний рівень знань студента та степінь зв’язку з іншими параметрами. Це дозволило визначити структуру відношень кожного класу (побудована матриця близькості між окремими класами) та ймовірності прийняття рішення про вибір навчального режиму перенавчання R_1 , донавчання R_2 чи навчання R_3 .

Проведений кластерний аналіз дозволяє:

- розбити множину X_i прецедентів на класи подібних об’єктів, що спрощує процес реалізації системи;
- будувати навчальну траєкторію студента по групах, що дозволяє прискорити процес обробки навчальної інформації;
- зменшити об’єм даних, тобто скоротити кількість прецедентів, завдяки використанню тільки базових сценаріїв для кожного класу;
- виділити нетипові (неіснуючі) сценарії, що не використовуються в навчальному процесі та відносяться до класу аномальних прецедентів;

- виконати ієрархію на множині сценаріїв, що дозволяє реалізувати побудову індивідуальної адаптивної траєкторії навчання шляхом переведення студентів з нижчих класів ієрархії у вищі.

Обробка матриці прецедентів із застосуванням математичної тризначної логіки

Оскільки у розробленій системі рівень оволодіння студентом навчальним матеріалом студентський модуль визначає на основі аналізу 5-ти параметрів P_i , то вводиться означення тризначного предиката P на множині M у вигляді 5-місної функції, визначеної на M із значеннями з множини $\{B, C, H\}$. В такому випадку окреме прецедентне рішення представляється у вигляді предикату P як:

$$P_1(H_1, H_2, C_3, C_4, H_5), P_2(C_1, C_2, B_3, B_4, C_5), P_3(B_1, C_2, C_3, B_4, B_5) \text{ і т.д.}$$

З метою математичного обрахунку номера навчального режиму для матриці прецедентів будують аналог досконалої диз'юнктивної нормальної форми (ДДНФ) [6]:

$$H_1 H_2 C_3 C_4 H_5 | R_1 \vee \dots \vee C_1 C_2 B_3 B_4 C_5 | R_2 \vee \dots \vee B_1 C_2 C_3 B_4 B_5 | R_3, \quad (2)$$

де R_i – номер режиму навчання, що відповідає окремому прецеденту.

Припустимо, що за результатами поточного тестування рівень оволодіння навчальним матеріалом для деякого студента M_1 представлений, наприклад, вектором $P(C_1, C_2, B_3, H_4, B_5)$. Використовуючи ДДНФ, визначимо номер режиму, по якому необхідно продовжити навчання для студента M_1 .

Беручи до уваги те, що операція кон'юнкції у двозначній логіці визначається як мінімум [7]:

$$(a \wedge b) = \min(a, b), \quad a, b \in [0, 1],$$

емпірично визначені кон'юнктивні правила для означеної модифікованої тризначної логіки:

$$| a_{ik} \wedge a_{jk} | = \begin{cases} 1, & |i - j| = 0 \\ 2/3, & |i - j| = 1 \\ 1/3, & |i - j| = 2 \end{cases}, \quad i, j \in \{1, 2, 3\}; k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

де $H \rightarrow a_1, C \rightarrow a_2, B \rightarrow a_3$ та побудована таблиця відповідності виконання кон'юнктивної операції стосовно різних комбінацій значень B, C, H (табл. 2).

Таблиця 2

Кон'юнктивні операції модифікованої тризначної логіки			
	$H - [0..0,4)$	$C - [0,4..0,8)$	$B - [0,8..1]$
$H - [0..0,4)$	1	2/3	1/3
$C - [0,4..0,8)$	2/3	1	2/3
$B - [0,8..1]$	1/3	2/3	1

Розглядаючи вектор P як один кон'юнктивний член ДДНФ та використовуючи означені вище кон'юнктивні правила, в результаті множення вектора P на матрицю прецедентів, представлену у формі (2):

$$\begin{aligned} & C_1 C_2 B_3 C_4 H_5 \wedge (H_1 H_2 C_3 C_4 H_5 | R_1 \vee \dots \vee C_1 C_2 B_3 B_4 C_5 | R_2 \vee \dots \vee B_1 C_2 C_3 B_4 B_5 | R_3) = \\ & = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot 1 | R_1 \vee \dots \vee 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} | R_2 \vee \dots \vee \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} | R_3 = \\ & = 0,1 | R_1 \vee \dots \vee 0,4 | R_2 \vee \dots \vee 0,07 | R_3 = 0,4 | R_2 \end{aligned} \quad (3)$$

отримано номер режиму R_2 , причому ймовірність вибору системою цього режиму дорівнює 0,4.

При обчисленні номера режиму у формулі (3) береться до уваги, що диз'юнкція декількох значень у тризначній логіці (за аналогією двозначної) дорівнює максимуму серед цих значень: $(a \vee b \vee c) = \max(a, b, c)$.

Описаний механізм дозволяє математично визначити номер навчального режиму, продовження навчання по якому дає змогу адаптувати навчальний контент відносно успіхів, які досягнув студент на деякому поточному етапі навчання.

На рисунку 1 показано графічне відображення кластерного аналізу для різних груп студентів, що дозволяє провести аналіз переходу студента по групах під час адаптивного подання навчальної інформації.

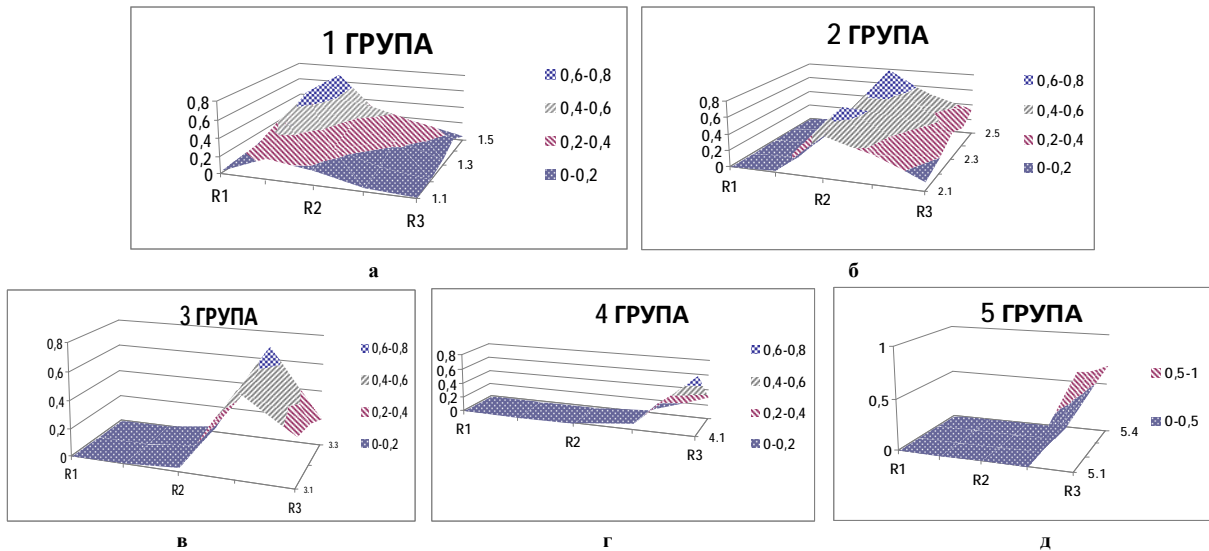


Рис. 1. Групове представлення класифікації студентів

Приклад практичної реалізації з використанням інструментального засобу ALS

Під час вивчення дисципліни «Бази даних та інформаційні системи» студент M_2 за результатами поточної тестової перевірки отримав наступні значення студентських параметрів: $P_1 - H$; $P_2 - H$; $P_3 - C$; $P_4 - C$; $P_5 - C$.

Побудова математичної моделі адаптивного управління навчанням студента реалізована в середовищі MATLAB. Для цього використовується функція приналежності [8], яка кожному значенню параметра P_i ставить у відповідність число з інтервалу [0..1].

Для кожного параметра P_i формується послідовність трапецієподібних функцій, визначених на множині $\{B, C, H\}$ (рис. 2).

В загальному випадку трапецієподібна функція приналежності представляється наступним аналітичним виразом:

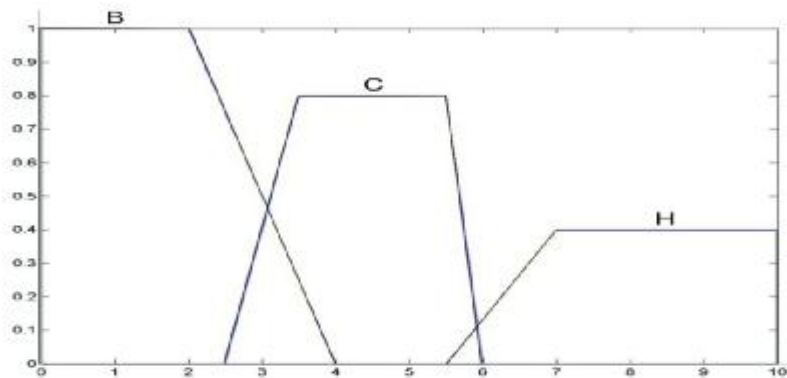


Рис. 2. Вигляд трапецієподібних функцій приналежності для значень B, C, H

$$f_{\text{трап}} = \left. \begin{array}{l} 0, \quad x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, \quad a \leq x \leq b \\ 1, \quad b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, \quad c \leq x \leq d \\ 0, \quad d \leq x \end{array} \right\},$$

де a, b, c, d – деякі числові параметри, що приймають довільні числові значення і впорядковані відношенням: $a \leq b \leq c \leq d$.

Використовуючи матрицю прецедентів, сформовану експертами на основі таблиці 1, побудовано інструментальний засіб ALS, реалізований на мові Delphi. Даний програмний продукт шляхом застосування математичного апарату тризначної математичної логіки автоматично відносить студента до певної групи кластеризації та вибудовує подальшу навчальну траєкторію на основі застосування обчисленого прецедента. Так, на рис. 3 відображено вікно результатів програмної обробки навчання студента M_2 , якому відповідає вектор $P(H, H, C, C, C)$ поточних параметрів та функція приналежності, що описується вектором числових значень кожної терми та визначає вузлові значення координат трапецієподібної функції.

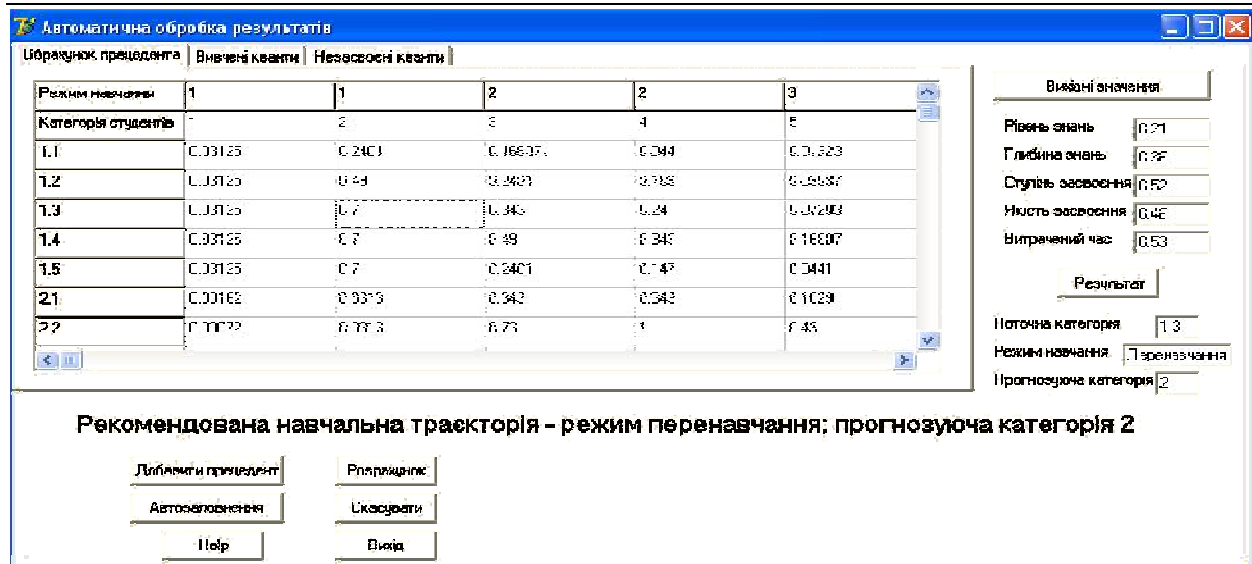


Рис.3 – Вікно програмної реалізації кластерного аналізу

Таким чином, за результатами поточної тестової перевірки студенту М навчальна програма формує набір невивчених навчальних квантів, та направляє його траєкторію навчання по прецеденту з максимальним значенням 0.7, який передбачає використання режиму повторного вивчення навчального матеріалу з прогнозуючим попаданням у 2-гу категорію.

Отриманий програмний продукт дозволяє змоделювати довільну навчальну ситуацію, описуючи її вектором поточних студентських параметрів (для кожного параметра вводиться набір термів та трапецеподібна функція приналежності, що відповідає кожній термі) та матрицею прецедентів.

Висновки

Запропонований метод класифікації студентів відрізняється від відомих тим, що побудований на основі матриці прецедентів, представлена у вигляді сценарних прикладів і алгебри висловлювань та дозволяє не тільки віднести студента до окремого класу, але й вибрати найбільш адаптований до нього сценарний приклад.

Це дає можливість проводити успішне адаптивне навчання студентів в залежності від їх поточних навчальних успіхів та структури навчального матеріалу.

Література

1. Арефьев В. П. Кластерный анализ результатов оценивания знаний в системе заочного обучения с использованием дистанционных образовательных технологий / В. П. Арефьев, А. А. Михальчук, Н. М. Филипенко // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3 (Электронный журнал). – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/109-9506>.
2. Воронцов К. В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) [Электронный ресурс] / К.В. Воронцов .– Режим доступа: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>
3. Федорук П. И. Использование сценарных примеров знаний при построении индивидуальной учебной траектории / П. И. Федорук, Н. В. Пикуляк // Программные продукты и системы. – Тверь, 2011. – № 2 (94). – С. 89–94.
4. Pikulyak M. The method of formalization of adaptive learning model based on precedents matrix / Mykola Pikulyak // Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці : CADSM 2015 : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. – С. 189–192.
5. Юдин В. Н. Гибридный подход к построению систем поддержки решений / В. Н. Юдин, Л. Е. Карпов // Труды Института системного программирования РАН (ИСП РАН). – 2013. – Т. 24. – С. 447–456.
6. Никольская И. Л. Математическая логика : учебник / И. Л. Никольская. – М. : Высш. школа, 1981. – 127 с.
7. Колмогоров А. Н. Математическая логика / А. Н. Колмогоров, А. Г. Драгалін. – Изд. 3-е, стереот. – М. : КомКнига, 2006. – 240 с.
8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

Рецензія/Peer review : 21.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 2.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПЕРІОДИЧНИХ КОМПОНЕНТ ЧАСОВОГО РЯДУ

Стаття присвячена дослідженню структури часового ряду, зокрема виділенню періодичних складових ряду за методом сингулярного спектрального аналізу. Для групування основних періодичних складових використано дискретне перетворення Фур'є та кластеризацію за методом k середніх. Розв'язок даної задачі необхідний для побудови моделі часового ряду та виявлення прихованих залежностей. В статті приведено аналіз структури фінансового часового ряду денних цін закриття та ряду середньодобових температур.

Ключові слова: сингулярний спектральний аналіз, період, перетворення Фур'є, кластеризація.

A.S. KASHTALIAN
Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

THE DEFINITION OF TIME SERIES MAIN PERIODICAL COMPONENTS

Abstract. The investigation of time series structure is important issue, because firstly, it gives capability to analyze the processes which conducting in caused this time series phenomenon. In addition, the knowledge of time series structure allows performing adequate prediction of further values. The article is devoted to research of time series structure and extraction of time series periodical components by singular spectrum analysis method. Discrete Fourier transform and k -means clustering are used for grouping main periodical components. The solution of this task is necessary for time series model creating and identification of hidden dependences. Structures analysis of the financial time series of day closing prices and time series of daily average temperatures is considered in article.

Key words: singular spectral analysis, period, Fourier transform, clustering.

Постановка задачі, аналіз досліджень та публікацій. В даний час для вивчення властивостей складних систем, в тому числі і при експериментальних дослідженнях, широко використовується підхід, що ґрунтується на аналізі сигналів системи. Це особливо актуально в тих випадках, коли математично описати досліджуваний процес практично неможливо, але наявною є деяка величина, що спостерігається, наприклад, метеорологічні або сейсмологічні дані, дані дослідження фізичного стану людини, дані фінансових ринків. Наявність тільки часового ряду значно обмежує знання про досліджувану систему і накладає значні обмеження [1]. Головною метою дослідження часового ряду є знаходження закономірностей, прихованих в емпіричних даних, що відображають внутрішню структуру ряду. Виявлена внутрішня структура часового ряду дозволяє також в подальшому виконувати прогнозування поведінки ряду.

Методи аналізу часових рядів поділяють на два загальні класи: методи частотної області і методи часової області, серед яких можна виділити такі методи: спектральний аналіз (дозволяє знаходити періодичні складові часового ряду); кореляційний аналіз (дозволяє знаходити існуючі періодичні залежності та відповідні їм затримки як всередині одного ряду, так і між декількома рядами); моделі авторегресії та рухомого середнього (моделі орієнтовані на опис процесів, що проявляють однорідні коливання, збуджені випадковими впливами); сезонна модель Бокса-Дженкінса (застосовується, якщо часовий ряд має явно виражений лінійний тренд та сезонні складові); модель експоненційно-зваженого рухомого середнього (одна з найпростіших моделей прогнозування часових рядів) тощо [2, 3]. Основна проблема полягає в тому, що більшість існуючих методів виявлення періодичних складових ряду передбачає наявність повторюваності в часовому ряду, що часто не відповідає дійсності, зокрема для фінансових рядів, і як наслідок, призводить до неадекватних результатів.

В даній роботі застосований апарат сингулярного спектрального аналізу, розроблений та обґрунтований наприкінці минулого століття [4, 5]. В основу методу покладений аналіз головних компонент, метод дозволяє досліджувати стаціонарні та нестаціонарні часові ряди, які можуть мати виражену періодичність або періодичність яких є невиявленою. Особливістю методу є те, що він не накладає на ряд попередніх обмежень, таких як наявність явно виражених періодичних коливань, наявність лінійного тренду, наявність повторюваності.

Матеріал і результати досліджень. Розглянемо задачу дослідження структури часового ряду $(f_0, f_1, \mathbf{K}, f_{n-1})$ довжини N . Під структурою розуміють деякі характеристики або властивості ряду, які зберігаються протягом часу. Звичайно, постає задача знаходження тренду або виділення періодичних складових. Як правило, для знаходження структури певного явища необхідна повторюваність цього явища. Якщо ж розглядається часовий ряд, який існує в єдиному екземплярі, то повторюваність відсутня. В якості способу виходу з цієї ситуації в стандартних методах аналізу часових рядів часто припускається справедливості параметричної моделі ряду або його стаціонарності. Однак ці обмеження можуть виявитися надто жорсткими. Тому необхідно отримати повторюваність ряду, не накладаючи на ряд попередніх жорстких обмежень. Розглянемо множину відрізків часового ряду заданої достатньо великої довжини L , (довжини вікна). Розглядатимемо ці відрізки послідовно, з першої по L -ту точку, з другої по $(L+1)$ -у і так далі. Дані відрізки (вектори L -вкладення) будуть володіти властивостями ряду. Якщо ряд містить тренд, то вектори вкладення теж його міститимуть, якщо в ряді присутня періодична складова, то вона буде присутня також в векторах вкладення. Таким чином можна дослідити всю сукупність векторів для виявлення їх

загальної структури. Складемо з векторів вкладення так звану траєкторну матрицю розмірності $L \times K$, де $K=N-L+1$ – число векторів вкладення. Вона матиме такий вигляд

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & \mathbf{K} & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & \mathbf{K} & f_K \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ f_{L-1} & f_L & \mathbf{K} & f_{N-1} \end{bmatrix} = [X_1, \mathbf{K}, X_K], \quad X_j = \begin{bmatrix} f_{j-1} \\ \mathbf{M} \\ f_{j+L-2} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В цій матриці є повторюваність і можна спробувати побачити структуру векторів вкладення. Для цього розкладемо всю траєкторну матрицю на елементарні частини (в суму елементарних матриць), в певному сенсі незалежні (ортогональні) і впорядковані за їх вкладом в розклад. Якщо розкласти їх вдало, то можна буде згрупувати ці елементарні матриці таким чином, щоб одна група відповідала трендовій складовій, друга – періодичній і так далі. Потім просумуємо матриці всередині кожної групи і повернемося від розкладу матриць до розкладу ряду на тренд, періодичні складові та залишок.

Способом розкладу траєкторної матриці, який виявляється добре узгодженим з розглянутою вище задачею, є сингулярний розклад. В зарубіжній літературі метод найбільше відомий як SSA (Singular Spectrum Analysis), причому під сингулярним спектром мається на увазі набір власних чисел сингулярного розкладу траєкторної матриці, що розуміється як сингулярний спектр відповідного матриці оператора. В Росії метод отримав назву «Гусениця» через послідовну процедуру нарізання векторів вкладення з вихідного ряду.

Початково ідентифікація складових ряду на основі сингулярного розкладу його траєкторної матриці проводилась інтерактивно, в основному візуальним способом, користуючись графічним представленням результатів та ґрунтуючись на теоретичних відомостях. З одного боку, інтерактивність є позитивною стороною методу, оскільки дає можливість свідомого його застосування з боку користувача та приводить до більш глибокого та якісного аналізу. З іншого боку, зокрема за необхідності аналізу великої кількості однотипних даних) виникає необхідність в автоматизації процедури ідентифікації складових ряду.

Базовий алгоритм SSA. Алгоритм сингулярного спектрального аналізу можна розбити на чотири кроки: вкладення, сингулярний розклад, групування та діагональне усереднювання. Перші два в сукупності називаються розкладом, останні – відновленням. Основним параметром алгоритму є так звана довжина вікна L , $1 < L < N$. результатом алгоритму є розбиття часового ряду на адитивні складові. Нехай $N > 2$. Розглядаємо часовий ряд $F = (f_0, f_1, \mathbf{K}, f_{n-1})$ довжини N . Вважаємо, що ряд F – ненульовий, тобто існує як мінімум одне i , таке що $f_i \neq 0$. Числа $0, \dots, N-1$ можуть визначатися не тільки як дискретні моменти часу, але також як деякі мітки, що мають лінійно-впорядковану структуру.

Вкладення. Процедура вкладення переводить вихідний часовий ряд в послідовність декількох багатомірних векторів. Якщо довжина вікна L , $1 < L < N$, то в результаті процедури вкладення буде утворено K векторів вкладення, що мають розмірність L . Результатом виконання є траєкторна матриця (1). Очевидно, що $x_{ij} = f_{i+j-2}$ і матриця \mathbf{X} має однакові елементи на «діагоналях» $i + j = const$. Таким чином, траєкторна матриця є ганкелевою. Існує відповідність між ганкелевими матрицями розмірності $L \times K$ та рядами довжини $N=L+K-1$.

Сингулярний розклад. Результатом цього кроку є сингулярний розклад траєкторної матриці ряду. Нехай $\mathbf{S} = \mathbf{X}\mathbf{X}^T$. Позначимо I_1, \mathbf{K}, I_L – власні числа матриці \mathbf{S} , взяті в не зростаючому порядку ($I_1 \geq \mathbf{K} \geq I_L \geq 0$) та U_1, \mathbf{K}, U_L – ортонормовану систему власних векторів матриці \mathbf{S} , що відповідають власним числам. Нехай $d = \max\{i : I_i > 0\}$. Якщо позначити $V_i = \mathbf{X}^T U_i / \sqrt{I_i}$, $i = 1, \mathbf{K}, d$, то сингулярний розклад матриці \mathbf{X} може бути записаний як

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_1 + \mathbf{K} + \mathbf{X}_d, \quad (2)$$

де $\mathbf{X}_i = \sqrt{I_i} U_i V_i^T$. Кожна з матриць \mathbf{X}_i має ранг 1, тому їх можна назвати елементарними матрицями. Набір $(\sqrt{I_i}, U_i, V_i)$ називається i -ою власною трійкою сингулярного розкладу (2).

Групування. На основі розкладу (2) процедура групування поділяє всю множину індексів $\{1, \mathbf{K}, d\}$ на m множин, що не перетинаються I_1, \mathbf{K}, I_m . Нехай $I = \{i_1, \mathbf{K}, i_p\}$. Тоді результуюча матриця \mathbf{X}_I , що відповідає групі I , визначається як

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_{i_1} + \mathbf{K} + \mathbf{X}_{i_p}.$$

Такі матриці визначаються для $I = I_1, \mathbf{K}, I_m$, тим самим розклад (2) може бути записаний в згрупованому вигляді

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_{I_1} + \mathbf{K} + \mathbf{X}_{I_m}, \quad (3)$$

Процедура вибору множини I_1, \mathbf{K}, I_m називається групуванням власних трійок.

Діагональне усереднення. На останньому кроці базового алгоритму кожна матриця згрупованого розкладу (3) переводиться в новий ряд довжини N . Нехай \mathbf{Y} – деяка $L \times K$ матриця з елементами y_{ij} , де

$1 \leq i \leq L, 1 \leq i \leq K$. Вважаємо $L^* = \min(L, K)$, $K^* = \max(L, K)$ та $N = L + K - 1$. Нехай $y_{ij}^* = y_{ij}$, якщо $L < K$ та $y_{ij}^* = y_{ji}$, в іншому випадку. Діагональне усереднення переводить матрицю \mathbf{Y} в ряд g_0, \mathbf{K}, g_{N-1} за формулою

$$g_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \sum_{m=1}^{k+1} y_{m, k-m+2}^* & \text{для } 0 \leq k < L^* - 1, \\ \frac{1}{L^*} \sum_{m=1}^{L^*} y_{m, k-m+2}^* & \text{для } L^* - 1 \leq k < K^*, \\ \frac{1}{N-k} \sum_{m=k-K^*+2}^{N-K^*+1} y_{m, k-m+2}^* & \text{для } K^* \leq k < N. \end{cases} \quad (4)$$

Вираз (4) відповідає усередненню елементів матриці вздовж «діагоналей» $i + j = k + 2$: для $k = 0$ отримуємо $g_0 = y_{11}$, для $k = 1$ отримуємо $g_0 = (y_{12} + y_{21})/2$ і т. д.

Застосовуючи діагональне усереднення (4) до результуючих матриць \mathbf{X}_{I_k} , отримуємо ряди $\tilde{F}^{(k)} = (\tilde{f}_0^{(k)}, \mathbf{K}, \tilde{f}_{N-1}^{(k)})$, відповідно вихідний ряд розкладається у суму m рядів.

$$f_n = \sum_{k=1}^m \tilde{f}_n^{(k)}. \quad (5)$$

Виділення основних періодів. Для виділення основних періодичних компонент ряду необхідно згрупувати ряди відповідно до їх частот. Для цього виконаємо для кожного отриманого ряду перетворення Фур'є

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot \exp\left(-j \cdot \frac{2p}{N} \cdot nk\right), \quad k = 0, \mathbf{K}, N-1,$$

N – кількість значень сигналу, виміряних за період, а також компонент розкладу; $s(n)$, $n = 0, \mathbf{K}, N-1$, – виміряні значення сигналу (в дискретних часових точках з номерами $n = 0, \mathbf{K}, N-1$, які є вхідними даними для прямого перетворення Фур'є; $S(k)$, $k = 0, \mathbf{K}, N-1$, – комплексні амплітуди синусоїдальних сигналів, що складають вихідний сигнал, є вихідними даними для прямого перетворення Фур'є. Вираз для дискретного перетворення Фур'є ставить у відповідність N відлікам сигналу $s(n)$ в загальному випадку N відліків спектру $S(k)$.

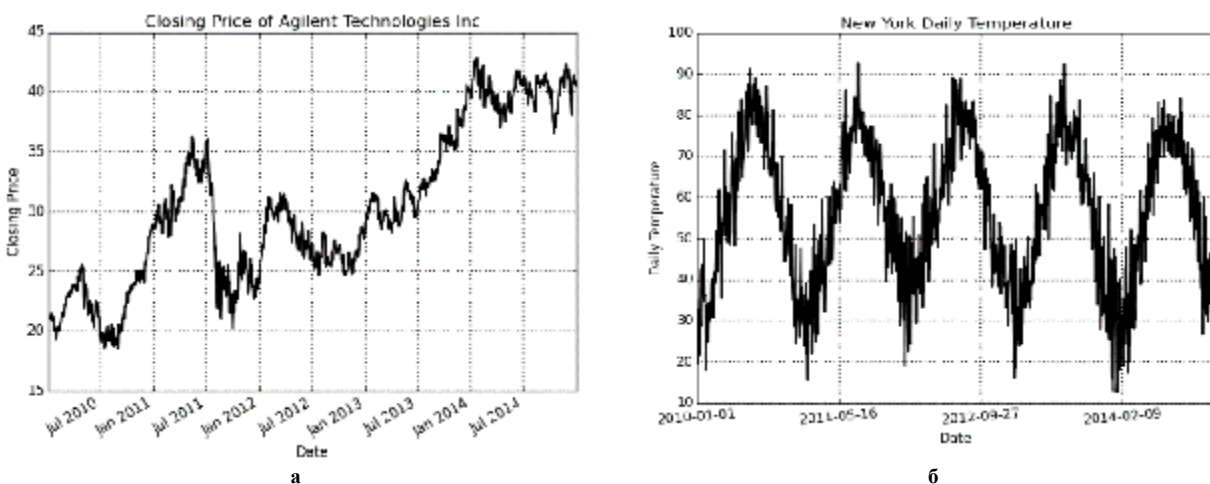


Рис. 1. Часові ряди: а) денних цін закриття компанії Agilent Technologies; б) середньодобових температур міста Нью-Йорк

За дискретним перетворенням Фур'є виділяємо визначаємо найвагомішу частоту найвагомішої гармоніки кожного ряду, в результаті отримуємо ряд частот $F = (f_0, \mathbf{K}, f_{N-1})$, що відповідає рядам, отриманим при спектральному сингулярному розкладі (5). Відповідно до цих частот отримуємо ряд основних періодів $T = (T_0, \mathbf{K}, T_{N-1})$, які також відповідають ряду (5).

Для групування періодів з близькими значеннями використаємо кластеризацію за метод k середніх.

Отримана множина $T = (T_0, \mathbf{K}, T_{N-1})$ періодів перетворюється в k ($\leq N-1$) множину $S = (S_0, \mathbf{K}, S_k)$ таким чином, щоб мінімізувати сумарне квадратичне відхилення точок кластерів від центрів цих кластерів

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - m_i)^2,$$

де k – число кластерів, S_i – отримані кластери, $i=1, \dots, k$, m_i – центри мас векторів $x_j \in S_i$.

Експериментальний аналіз. Було проведено аналіз різних типів часових рядів, зокрема нестационарного часового ряду з невиявленою періодичністю та часового ряду з вираженою періодичністю. В роботі представлено ряд денних цін закриття для компанії Agilent Technologies з 1 січня 2010 року до 1 січня 2015 року (рис. 1а) та ряд середньодобових температур міста Нью-Йорк з 1 січня 2010 року до 1 січня 2015 року (рис. 1б).

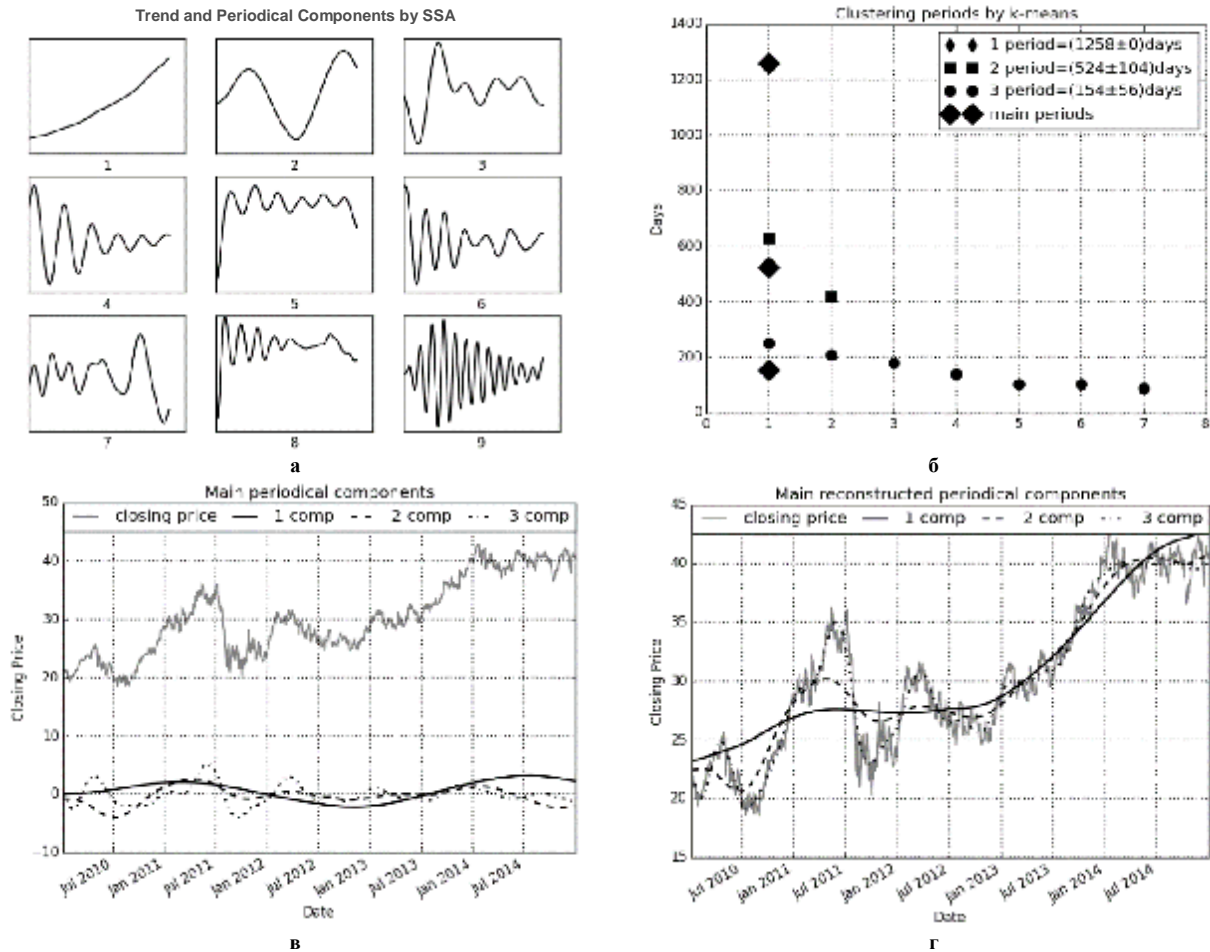


Рис. 2. Результати аналізу часового ряду денних цін закриття компанії Agilent Technologies:

а) трендова складова та виділені періодичні компоненти за методом SSA;

б) групування періодичних компонент за методом k-середніх;

в) основні періодичні компоненти часового ряду

г) основні періодичні компоненти часового ряду з врахуванням трендової складової

Наведений часовий ряд цін закриття не має вираженої періодичності, як і більшість фінансових рядів, таких як ціна на акції компаній, курси валют і т. п. Однак за методом сингулярного спектрального аналізу можна виділити приховані гармоніки, присутні в таких часових рядах. В даному часовому ряду було виділено перших 10 складових ряду, перші 9 з яких відображені на рисунку 2 а. Перша складова є трендовою і відображає загальну тенденцію ряду, всі наступні є періодичними з періодами [1258, 629, 251, 209, 179, 419, 139, 104, 104, 89] днів. Деякі періодичні складові мають близькі за значенням періоди. Прослідкувати поведінку всіх десятих складових важко і це може ускладнити розуміння структури ряду та його прогнозування, тому вони згруповані у три основних періодичних складових (рис. 2 б): [1258±0, 524±104, 154±56] днів. Згруповані основні періодичні складові зберігають періодичність (рис. 2 в) і накладені на трендову складову (рис. 2 г) більш повно відображають поведінку ряду, ніж тільки трендова складова, тому що враховують не тільки загальне зростання за п'ять років, а також проміжні падіння цін.

Температурний часовий ряд є виражено періодичним, що добре видно на його графіку. При його аналізі за мету було поставлено виділення річної періодичності, тому початково було виділено 5 періодичних складових: [1826, 608, 365, 365, 365] днів (рис. 3 а), які в подальшому згруповані в 3 основних

періодичних складових $[1826 \pm 0, 608 \pm 0, 365 \pm 0]$ днів (рис. 3 б, рис. 3 в). Із врахуванням постійної складової температурного ряду періодичні складові досить повно відображають загальну поведінку ряду (рис. 3 г). Виділена третя періодична складова чітко вловила річні коливання температур, інші дві відображають незначні зміни, які відбуваються з температурою з року в рік.

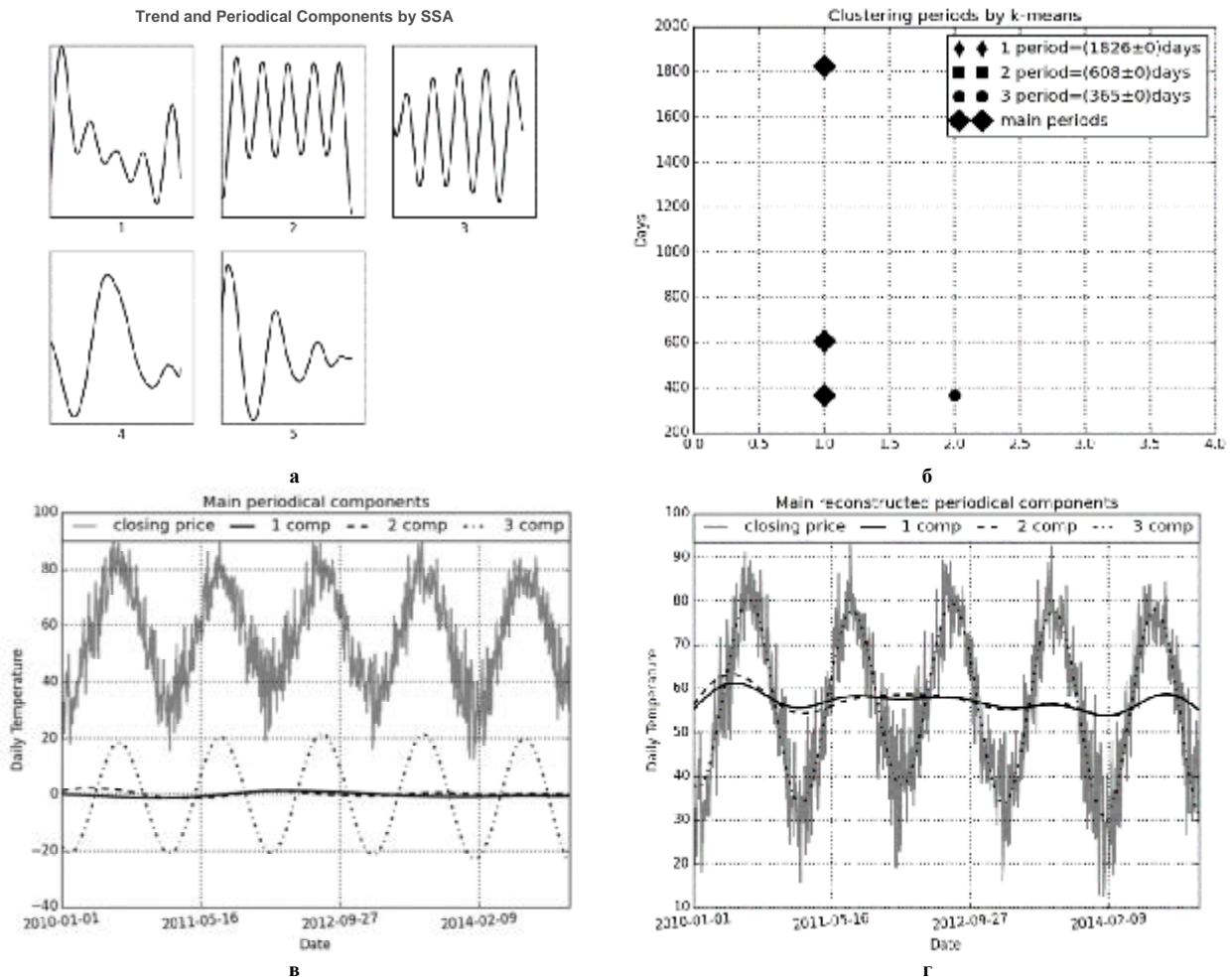


Рис. 3. Результати аналізу часового ряду середньодобових температур міста Нью-Йорк:
 а) виділені періодичні компоненти за методом SSA;
 б) групування періодичних компонент за методом k середніх;
 в) основні періодичні компоненти часового ряду
 г) основні періодичні компоненти часового ряду з врахуванням постійної складової

Висновки. Запропонована в статті методика аналізу структури часового ряду дозволяє виділити гармоніки та отримати основні періодичні компоненти часового ряду, що характеризують явища та процеси, які породжують часовий ряд. Попередні знання про структуру часового ряду при цьому не вимагаються, метод дозволяє проаналізувати періодичні ряди різних типів, з невиявленою або вираженою періодичністю. Запропонований метод кластеризації k середніми виправдовує себе і об'єднує близькі або рівні періодичні складові, що дозволило в температурному ряді чітко виділити річний період коливань, а в ціновому ряді об'єднати близькі періоди і узагальнити структуру. Варто відмітити, що особливої уваги потребує вибір такого параметра, як довжина вікна для аналізу за методом сингулярного спектрального аналізу. Довжина вікна залежить від того, якого рівня періодичні складові необхідно виділити; більш чітке визначення цього параметра потребує подальшого дослідження.

Література

1. Лоскутов А.Ю. Основы теории сложных систем./ А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. — 620 с.
2. Enders W. Applied Econometric Time Series, 4th edition/ Enders W. – John Wiley & Sons Inc, USA, 2014. – 460p.
3. Ruey S. Tsay Analysis of Financial Time Series/ Ruey S. Tsay. – John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2005. – 640p.
4. Данилов Д.Л. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница»./ Д.Л. Данилов, А.А. Жиглявский. – СПб.: Пресском, 1997. – 308с.

5. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница» SSA: анализ временных рядов./ Н.Э. Голяндина. – СПб.: СПб ун-т, 2004. – 74с.

Рецензія/Peer review : 28.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 629.7.05 + 681.3.01

А.А. РОГАТЮК

Національний авіаційний університет, м. Київ

РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ, ДЕТЕКТУВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ У ВИГЛЯДІ ДОДАТКУ ОБРОБКИ ВІДЕОДАНИХ

Запропоновано інтерфейс програмного забезпечення обробки відеоданих, що виконує функцію ідентифікації чужорідного об'єкта, розпізнавання за еталонним зразком та ведення цілі на відео в режимі реального часу. Розроблено програмне забезпечення, яке виконує такі функції: ідентифікація чужорідного об'єкта на відео; виведення масиву текстур для передачі команди на борт безпілотного повітряного судна; розпізнавання цільового об'єкта на відео; захоплення та ведення цілі на відео.

Ключові слова: програмне забезпечення обробки відеоданих, ідентифікація об'єктів, розпізнавання об'єктів на відео, детектування на відео в режимі реального часу.

A. A. ROHATIUK

National Aviation University, Kyiv

IMPLEMENTATION OF INFORMATION TECHNOLOGY RECOGNITION, DETECTION AND IDENTIFICATION IN THE FORM OF APPLICATION PROCESSING VIDEO DATA

Abstract. Proposed the interface of software of processing video data, that has functions: identification foreign object, recognition by etalon object and detection moving target on video in real-time.

It developed software that performs the following functions: identification of a foreign object in the video; output array of textures to transfer the team on board unmanned aircraft; recognition of the target object in the video; capturing and keeping goals on video.

Keywords: software video processing, object identification, object recognition, detection on video in real-time.

Постановка проблеми

З розвитком апаратного складу та новітніх технологій представлення та обробки відео, виникає питання можливості обробки даних в режимі реального часу. Досить актуальним є можливість розпізнавання об'єкта, захоплення та ведення рухомої цілі(об'єкта) на відео. Розроблені на даний момент методи, які вирішуються дані завдання переважно використовують для детектування руху на відео з нерухомої камери, які знаходять своє використання в телевізійних системах охорони, а розроблені інформаційні технології не є широкодоступні для вітчизняного використання.

В останні роки набувають широкої популярності безпілотні літальні апарати. Вітчизняне використання БПЛА потребує ряд розробок не тільки апаратного складу, але й програмного забезпечення керування апаратом та аналізу отриманих даних. Актуальними є вибір методів та розробка на їх основі програмного забезпечення, щоб дозволило вирішувати задачі: класифікації текстур на відео, розпізнавання об'єкта за еталонним зразком, ідентифікації та ведення рухомого об'єкта і т.д., отриманих з рухомої камери БПЛА в режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як уже зазначалося, більшість існуючого програмного забезпечення, в якому реалізовані алгоритми детектування руху, та які є доступними для широкого кола користувачів є переважно системи охоронного призначення, системи для моніторингу та контролю дорожнього руху та ін.

Одне з основних завдань, на вирішення якого спрямовані зазначені системи, є автоматизоване виявлення руху (RiseSun) [10]. Загалом, в даних системах можливість детектування з декількох камер одночасно обмежено тільки потужністю комп'ютера (EyeLine) [7]. У процесі детектування руху різні системи пропонують різні налаштування, такі як: зони спостереження можуть бути будь-якої форми і розміру, можливість регулювати рівень чутливості для кожної зони (WebCamLooker) [4-6]; детектування повільного і швидкого руху, виставлення довільних зон детектування, детектування осіб, детектування розфокусування, детектування зсуву (Trassir) [8]; детектування об'єктів за кількома ознаками (яскравість, межі, колір, особливі точки) (MagicBox) [9]. Деякі системи також додатково включають в себе здатність реагувати на припинення руху.

Виконання безперервного супроводу (трасування) рухомого об'єкта має меншу реалізацію в описаних системах, оскільки потребує більш складного математичного апарату. Ця функція реалізована в MagicBox, в Trassir – аналітичне передбачення подальшої траєкторії руху об'єкта за допомогою вектора швидкості.

Однією з досить важливих функцій при розробці програмного забезпечення детектування руху є підключення адаптивної система шумопридушення (MagicBox), система TRASSIR може використовуватися при вуличному застосуванні і в складних погодних умовах, фільтрує випадкові шуми.

Постановка завдання

Системи детектування руху які розроблені для БПЛА не мають широкого доступу, що підтверджує актуальність розробки відповідних систем. Також одним з недоліків сучасних апаратних і програмно-апаратних детекторів руху, те що вони складно інтегруються в комп'ютерні системи і володіють обмеженим не модифікованими властивостями.

Виклад основного матеріалу

На основі інформаційної технології, запропонованої в [1] розроблено програмне забезпечення обробки потокового відео в режимі реального часу, яка виконує такі задачі:

- 1) ідентифікація об'єкта, який являється чужорідним для типових текстур на відеокадрах;
- 2) розпізнавання об'єкта за еталонним зразком;
- 3) ведення захопленої цілі (детектування).

ПЗ реалізовано, як модуль автоматизованої системи UASAnalyzer [3], призначеної для створення робочого місця другого зовнішнього пілота безпілотного повітряного судна (БПС).

Більша частина компонентів АС була реалізована на мові програмування С#, проте модуль обробки відео був розроблений у вигляді окремого компонента, створеного на основі технології AdobeFlex [3]. Обробка відео виконується в два незалежні потоки. Для організації взаємодії між AdobeFlex та С# було використано бібліотеку AxShockwaveFlashObjects.dll [20]. Для роботи програми потрібен персональний комп'ютер, який працює під керуванням операційних систем сімейства Windows XP/Vista/7. Мінімальний об'єм ОЗП – 2 Гбайт.

Модуль обробки відео призначений для: обробки даних з борту БПС, які надходять у вигляді потокового відео; для швидкої реакції пілотів на зміни, які фіксують апаратні відео реєстратори, призначена для аналізу відзнятого відео, виділення підозрілих об'єктів, пошуку заданих.

Обробка даних виконується у фоновому режимі, що дозволить оперативно реагувати на зміну ситуації для здійснення аналізу місцевості в складних умовах.

Модуль дозволяє вирішувати наступні задачі:

1. Ідентифікація чужорідного об'єкта на відео, що отримане з БПС, в режимі реального часу.
2. Виведення масиву текстур, що представляють інтерес, користувачеві станом для поточного відеокадру, з метою передачі команди на борт БПС для виконання польоту в задану точку.
3. Розпізнавання цільового об'єкта на відео за заданим еталонним зразком.
4. Захоплення та ведення цілі на відео.

Головне вікно UASAnalyzer візуально розділено на дві області: ліворуч – область відео та панель для виведення результатів обробки, праворуч – область карти. На рис. 1. зображено початковий вигляд вікна.

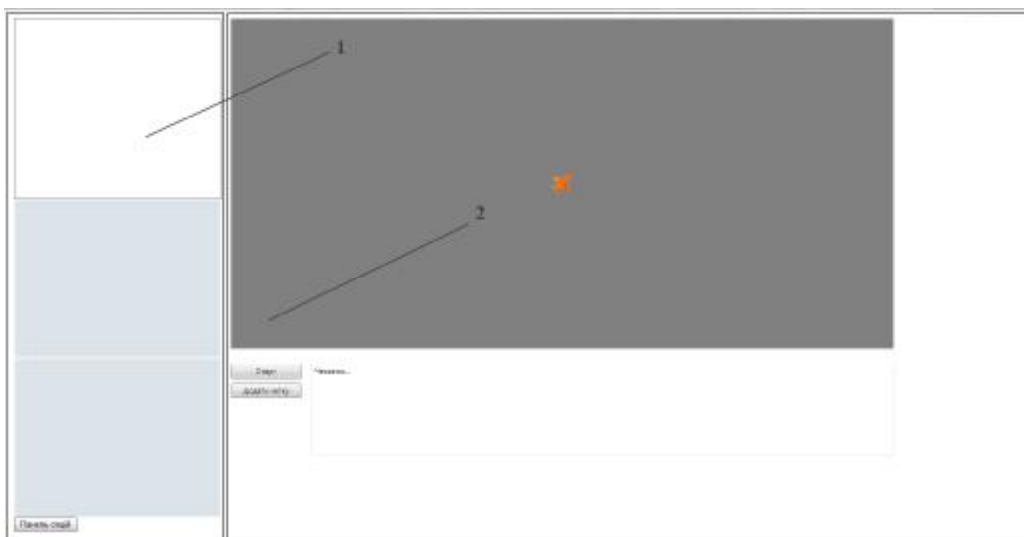


Рис. 1. Головне вікно при запуску системи (1 - область відео; 2 - область карти)

Загальний вигляд інтерфейсу користувача програмного комплексу та його основні елементи подано на рис. 2.

Під областю відтворення відео знаходяться панелі, на які надходять результати ідентифікації об'єктів, що схожі на ціль, на відео. Оскільки дана процедура виконується в два незалежні потоки, результати виводяться в два масиви.

Відтворення відео. Для запуску системи, в меню «Пуск» обрати додаток UASAnalyzer. Відкриється

основне вікно додатку. При натисненні на кнопку «Старт» починає відтворюватись відео, яке надходить з БПС в режимі реального часу, а на карті відображається місцезнаходження літака в поточний момент.

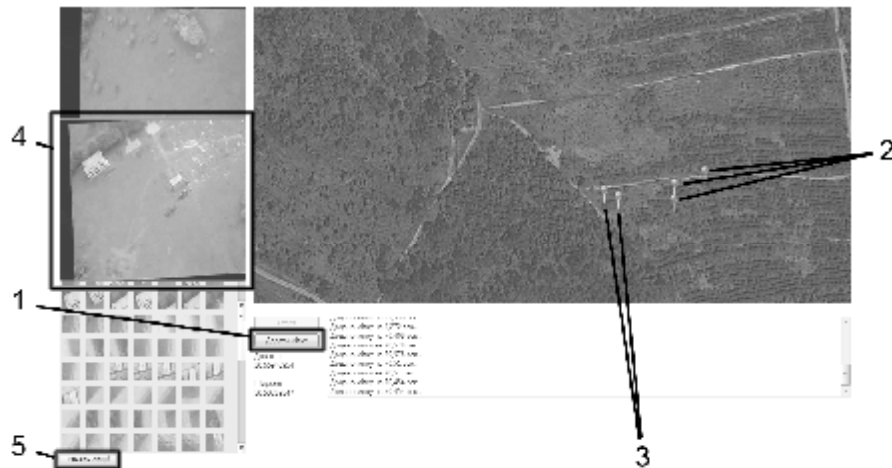


Рис. 2. Обробка даних польоту (1 – кнопка додавання мітки; 2, 3 – мітки на карті; 4 – кадр з відео; 5 – кнопка відкриття панелі налаштувань)

Мітка. Для того щоб поставити мітку на карті в поточний момент часу, Користувач повинен натиснути на кнопку «Додати мітку». В діалоговому вікні з'явиться відповідне повідомлення (рис. 3). При кліку на мітку на борт БПС передається команда на політ до заданої точки.



Рис. 3. Головне вікно системи після того, як користувачем було поставлено мітку про місцезнаходження літака в поточний момент часу (1 - мітка на карті)

Ідентифікація чужорідного об'єкта. Система може перебувати у двох режимах: детектування і накопичування типових для відео текстур та виділення чужорідних об'єктів (авторежим).

З моменту відтворення відео система знаходиться в авторежимі: виконує пошук чужорідних об'єктів, тобто таких, які не відповідають типовим текстурам для поточного відео. Під областю відео знаходяться панелі, на які виводяться результати ідентифікації чужорідних об'єктів на відео.

Користувач не задає жодних початкових даних, процедура працює за початковими налаштуваннями, які можуть бути змінені в подальшому: розміри контрольних зразків, очищення масиву еталонів та ін.

У процесі накопичування текстур на кожному відеокадрі відбирається деяка кількість контрольних зразків, які обробляються та аналізуються. В результаті кожен такий зразок відноситься до однієї з груп:

1) зберігається як еталонний на якому присутня типова для даного відео проста текстура, наприклад: текстура «трава», «піщана дорога»;

2) зберігається як складний зразок на якому присутні декілька типових (простих) для поточного відео текстур, наприклад: текстура «кущ серед поля»;

3) зберігається та виводиться користувачеві на екран як такий, що має чужорідну текстуру, наприклад: текстура «авто на піщаній дорозі», «будинок серед лісу».

Під час попередньої обробки, отриманні дані про поточний відеокادر інтерпретуються для подальшого використання на інших етапах, де виконується розбиття кадру на області (контрольні зразки) та послідовний їх аналіз. Основним етапом ідентифікації є порівняння кожного контрольного зразка з накопиченими (масивом еталонів або масивом чужорідних об'єктів), з аналізу даних результатів робиться висновок про існування та місцезнаходження підозрілого об'єкта на відеокадрі.



Рис. 4. Результати роботи процедури ідентифікації чужорідного об'єкта (1 – об'єкт на відео; 2 – виведення чужорідних об'єктів на екран)

Для того, щоб поставити мітку на карті про місцезнаходження літака в момент захоплення даного зразка, користувач повинен натиснути правою кнопкою миші по об'єкту (рис. 5).



Рис. 5. Головне вікно ПЗ після того, як користувачем було поставлено мітку про місцезнаходження літака в момент захоплення чужорідного об'єкта (1 – мітка, яка показує координати літака)

Для того, щоб повністю переглянути відеокадр, отриманий в момент захоплення даного зразка, користувач повинен натиснути лівою кнопкою миші по об'єкту (рис. 6).



Рис. 6. Головне вікно ПЗ в момент виклику користувачем спливаючого вікна з зображенням відеокадру отриманого в момент захоплення чужорідного об'єкта (1 – чужорідний об'єкт; 2 – відеокадр у момент захоплення)

Панель опцій. Щоб відкрити панель опцій та задати нові налаштування, такі як: розміри контрольних зразків (3x3 – 20x20); порогові значення (порогове значення віднесення зразка з відео до типових текстур, порогове значення відповідності еталонного зразка контрольному в режимі розпізнавання); змінити режим роботи системи з "авто" на "розпізнавання" та навпаки; виконати очищення еталонного масиву текстур; завантажити еталонні зразки для розпізнавання об'єкта на відео; завантаження типових текстур для відео. користувач повинен натиснути на кнопку «Панель опцій», що знаходиться зліва внизу.

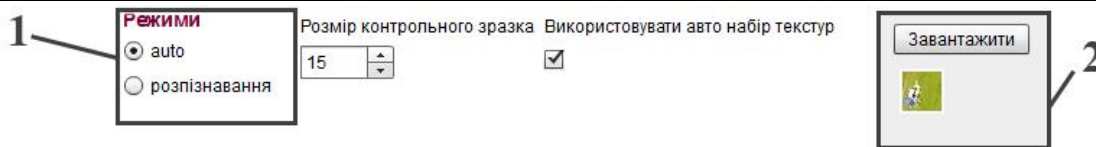


Рис. 7. Панель опцій (1 – панель зміни режиму системи; 2 – панель завантаження еталонного зразка для режиму розпізнавання)

Розпізнавання. Для розпізнавання об’єкта за еталонним зразком, користувач повинен через панель опцій завантажити заздалегідь збережене зображення цілі. Система автоматично переходить в режим «розпізнавання».

Так само, як і в режимі ідентифікації, дані про поточний відеокадр проходять етап попередньої обробки та етап розбиття на області (контрольні зразки). Аналіз результатів порівняння кожного контрольного зразка з еталонним (ціллю) дає змогу визначити область на поточному відеокадрі, що йому відповідає, тобто нові координати заданої цілі.

Захопленні об’єкти відображаються під панелями ідентифікованих чужорідних об’єктів.

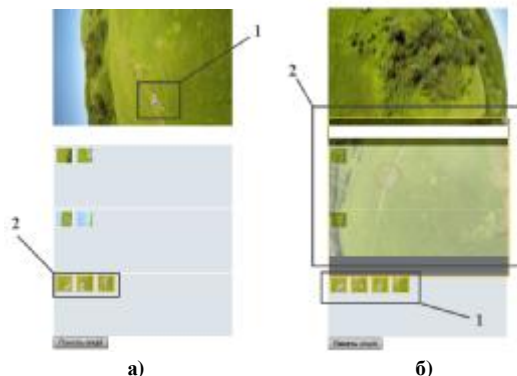


Рис. 8. а) ліва панель головного вікна системи під час процедури розпізнавання об’єкта «машина» (1 – цільовий об’єкт на відео; 2 – панель виведення на екран розпізнаних об’єктів за еталонним зразком); б) ліва панель головного вікна системи під час відтворення руху розпізнаного об’єкта в додатковому вікні (1 – область виведення на екран розпізнаних об’єктів; 2 – вікно відтворення руху об’єкта)

Детектування. Система виконує перехід в режим детектування автоматично після того, як розпізнала об’єкт за еталонним зразком. Для того щоб відтворити рух об’єкта в додатковому вікні, користувач повинен натиснути лівою кнопкою на розпізнаний об’єкт на панелі.

На рис. 9-12 подано результати тестування ПЗ на відеоданих отриманих з камери БПС. Для тестування обрано відео з різними типами текстур та різними цільовими об’єктами на відеокадрах.

Для початкового етапу ідентифікація, як це видно з результатів тестування, є характерним накопичування даних про типові текстурні на відео, що зумовлює певну надлишковість в масиві захоплених об’єктів. Надалі, у результаті отримання достатньої кількості інформації, цей недолік усувається, як це видно на рис. 9-12, тобто відбувається відсіювання зайвих об’єктів та виділення цільових.



Рис. 9. Ідентифікація чужорідних об’єктів типу «будинок» та «асфальтована дорога»



Рис. 10. Ідентифікація чужорідних об’єктів типу «споруда серед поля», «будинок» та «асфальтована дорога»

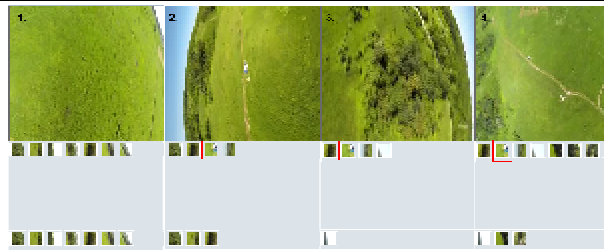


Рис. 11. Ідентифікація чужорідного об'єкта типу «авто»



Рис. 12. Ідентифікація чужорідних об'єктів типу «авто» та «будівлі»

Висновки

Розроблене програмне забезпечення може виконувати такі функції: ідентифікація чужорідного об'єкта на відео, що отримане з БПС, в режимі реального часу; виведення масиву текстур, що представляють інтерес, користувачеві станом для поточного відеокадру, з метою передачі команди на борт БПС для виконання польоту в задану точку; розпізнавання цільового об'єкта на відео за заданим еталонним зразком; захоплення та ведення цілі на відео. На розробленому інтерфейсі проведено тестування на відео з різними типами текстур та різними цільовими об'єктами на відеокадрах. Експеримент засвідчив якісне виконання покладених на програмне забезпечення функцій.

Література

1. Приставка П.О. Математичне забезпечення розпізнавання та супроводу об'єкта в режимі реального часу для відео / П.О. Приставка, А.А. Рогатюк // Вісник Національного авіаційного університету. – 2013. – №2(55):271-272. – С. 141-148.
2. Components of Information Technology Processing of Data Obtained from Unmanned Aerial Vehicle / Ph. Pristavka, A. Assaul, E. Nichikov, A. Rogatuk // Proceedings the Fifth World Congress “Aviation in the XXI century” “Safety in Aviation and Space Technologies” (September 25-27. – Kyiv, 2012. – Vol. 2. – P. 2.21-2.25.
3. Adobe Flash Platform: Innovation that stands out, technology that fits in [Електронний ресурс] / Adobe. – Режим доступу: http://www.adobe.com/platform/whitepapers/platform_overview.pdf.
4. Програма видеонаблюдения «WebCam Looker» [Електронний ресурс] / DV LAN International. – Режим доступу: <http://www.dvlan.net/node/1424>
5. WebCam Looker: Програма видеонаблюдения с детектором движения для вебкамер [Електронний ресурс] / FelenaSoft Company. – Режим доступу: <http://felenasoft.com/webcamlooker/ru/>
6. WebCam Looker v. 6.0 [Електронний ресурс] / NoNaMe. – Режим доступу: http://nnm.ru/blogs/ureznet1/webcam_lookerv6_0/
7. EyeLine Video Surveillance Software [Електронний ресурс] / NCH Software. – Режим доступу: <http://www.nchsoftware.com/surveillance/index.html>
8. Функциональные возможности платформы TRASSIR [Електронний ресурс] / DSSL. – Режим доступу: <http://www.dssl.ru/possibility/#dvig>
9. Об интеллектуальных датчиках движения и детектировании целей в видеосервере «MagicBox» [Електронний ресурс] / MagicBox Company. – Режим доступу: <http://magicbox.agrg.ru/analytics>
10. Reohix : Програма обнаружения движения «Rise Sun» [Електронний ресурс] / SOFTSOFT. – Режим доступу: <http://www.softsoft.ru/graphic-apps/screen-capture/56843.htm>

Рецензія/Peer review : 26.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

LIMITATION OF EFFECTIVENESS IN USING MATLAB GPUARRAY METHOD FOR CALCULATING PRODUCTS OF TRANSPOSE-SYMMETRICALLY SIZED MATRICES

A research of effectiveness in using MATLAB `gpuArray` method for calculating products of transpose-symmetrically sized matrices is represented. For this, MATLAB `gpuArray` method is used on three types of NVIDIA® GPU. It is revealed that, independently of the size, generating matrices directly on GPU is fully inefficient. GeForce GT 610 is inefficient in itself. GeForce GTS 450 is efficient when number of lines and columns of the first matrix is greater than 200 and 50, respectively. The running time efficiency of matrix product calculation for Tesla K40c is stronger, as it comes when number of lines and columns of the first matrix is greater than 70 and 10, respectively.

Keywords: matrix product, parallelization, effectiveness, MATLAB, `gpuArray` method, running time efficiency.

B. B. РОМАНЮК
Хмельницький національний університет

ОБМЕЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАТЛАБ-МЕТОДУ GPUARRAY ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ДОБУТКУ МАТРИЦЬ ТРАНСПОНОВАНО-СИМЕТРИЧНОГО РОЗМІРУ

Представляється дослідження ефективності використання МАТЛАБ-методу `gpuArray` для обчислення добутку матриць транспоновано-симетричного розміру. Для цього використовується МАТЛАБ-метод `gpuArray` на трьох типах NVIDIA® GPU. Виявляється, що генерування матриць безпосередньо на GPU є повністю неефективним незалежно від розміру. GeForce GT 610 є неефективним по суті. GeForce GTS 450 є ефективним тоді, коли число рядків і стовпців першої матриці є більшим відповідно за 200 та 50. Продуктивність часу рахунку матричного добутку для Tesla K40c більш явна, оскільки вона настає за числа рядків і стовпців першої матриці, більшого відповідно за 70 та 10.

Ключові слова: добуток матриць, паралелізація, ефективність, МАТЛАБ, метод `gpuArray`, продуктивність часу рахунку.

Motivation of exploring the running time efficiency of nonsquare matrix product calculation

In the article [1], a research of efficient computation of square matrix product on GPU was represented. While researching, MATLAB `gpuArray` method was used on three types of NVIDIA® GPU (GeForce GTS 450, Tesla K40c, GeForce GT 610). The research exposed that MATLAB `gpuArray` method optimal use, if any, requires the matrix order be greater than 120. Generating matrices directly on GPU [2, 3] is fully inefficient for a long sequence of products. The running time is shortened when matrices are already on GPU, and the efficiency holds if matrices are generated directly on GPU just for a few times [1, p. 250].

Generally speaking, the article [1] proves the effectiveness of GPU computations becomes apparent for large sized arrays, but MATLAB `gpuArray` method may have specific optimal use when numbers of lines and columns are different. For instance, calculating on CPU, product of 10×1000 matrix and 1000×10 matrix is calculated faster than product of two 100×100 matrices. And product of 1000×10 matrix and 10×1000 matrix is calculated much slower. This specificity motivates to explore the running time efficiency (RTE) of nonsquare matrix product calculation.

Goal and items to be fulfilled

For determining RTE of using MATLAB `gpuArray` method for calculating nonsquare matrix products, let multiply $M \times N$ matrices by $N \times M$ matrices and measure the running time. Along with results of the article [1], this will allow to ascertain optimal parallelization of matrix computations [4, 5] with MATLAB Parallel Computing Toolbox using its `gpuArray` method. To get it realized, the following items are to be fulfilled:

1. Formalize the problem in mathematical notation.
2. Define the range of numbers of lines and columns in transpose-symmetrically sized matrices (TSSM).
3. Run the MATLAB code for multiplying TSSM increasing progressively numbers of their lines and columns. Make it for an appropriate number of cycles to ensure stable statistical estimation of the running time.
4. Both for CPU and GPU, estimate time for initialization of the matrix elements depending on the size (i. e. numbers M and N). Similarly, estimate time for TSSM product depending on the size.
5. For each type of the applied GPU (GeForce GTS 450, Tesla K40c, GeForce GT 610), find subranges of numbers M and N (and, probably, their combination), where the GPU running time is shorter than the CPU running time.

Formalization of RTE problem

The running time consists of the matrices' initialization period (MIP) and their product calculation period (PCP). Matrices can be initialized by a way among those three ones:

1. CPU matrix initialization, without transferring to GPU (CPUMI). This way presupposes product calculation just on CPU. The CPU running time is

$$t(M, N) = \theta(M, N) + p(M, N) \quad (1)$$

by MIP $\theta(M, N)$ and PCP $p(M, N)$ on CPU.

2. CPU matrix initialization, with subsequent transferring to GPU (CPUMI-GPU). This way presupposes product calculation on GPU. The GPU running time is

$$t_{\text{GPU}}(M, N) = \theta_{\text{GPU}}(M, N) + p_{\text{GPU}}(M, N) \tag{2}$$

by MIP $\theta_{\text{GPU}}(M, N)$ for CPUMI-GPU and PCP $p_{\text{GPU}}(M, N)$ on GPU.

3. Direct GPU matrix initialization (DGPUMI) [1, p. 244]. The matrix product is calculated on GPU, and here the GPU running time is

$$t_{\text{GPU}}^*(M, N) = \theta_{\text{GPU}}^*(M, N) + p_{\text{GPU}}^*(M, N) \tag{3}$$

by MIP $\theta_{\text{GPU}}^*(M, N)$ for DGPUMI and PCP $p_{\text{GPU}}^*(M, N)$ on GPU after DGPUMI.

Let matrices $\mathbf{A} = (a_{ij})_{M \times N}$ and $\mathbf{B} = (b_{jk})_{N \times M}$ to be multiplied have entries which are values of standard normal variates:

$$\mathbf{A} \in \mathbf{N}(0, 1, M \times N) \text{ and } \mathbf{B} \in \mathbf{N}(0, 1, N \times M) \text{ by } M \in \square \setminus \{1\} \text{ and } N \in \square \setminus \{1\} \tag{4}$$

for the infinite set $\mathbf{N}(0, 1, L \times Q)$ of $L \times Q$ -matrices in which every entry is a value drawn from the standard normal distribution. By CPUMI, the product of matrices (4) is the matrix

$$\mathbf{C} = (c_{ik})_{M \times M} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \left(\sum_{j=1}^N a_{ij} b_{jk} \right)_{M \times M} . \tag{5}$$

The period of assignment (4) is MIP $\theta(M, N)$ in the CPU running time (1). By CPUMI-GPU, matrices (4) are preliminarily copied to a GPU device. The copier is a mapping C taking a matrix \mathbf{Z} on CPU and returning the matrix \mathbf{Z}_{GPU} on GPU, where $\mathbf{Z}_{\text{GPU}} = \mathbf{Z}$ [1], so the CPUMI-GPU product of matrices (4) is the matrix

$$\mathbf{C}_{\text{GPU}} = (c_{ik})_{M \times M} = \mathbf{A}_{\text{GPU}} \cdot \mathbf{B}_{\text{GPU}} = \left(\sum_{j=1}^N a_{ij} b_{jk} \right)_{M \times M} . \tag{6}$$

MIP $\theta_{\text{GPU}}(M, N)$ in the GPU running time (2) consists of the period of assignment (4) and period of transferring

$$\mathbf{A}_{\text{GPU}} = C(\mathbf{A}) \text{ and } \mathbf{B}_{\text{GPU}} = C(\mathbf{B}). \tag{7}$$

By DGPUMI, the matrix (6) is calculated just after matrices are generated directly on GPU:

$$\mathbf{A}_{\text{GPU}} \in \mathbf{N}(0, 1, M \times N) \text{ and } \mathbf{B}_{\text{GPU}} \in \mathbf{N}(0, 1, N \times M) \text{ by } M \in \square \setminus \{1\} \text{ and } N \in \square \setminus \{1\}. \tag{8}$$

Then MIP $\theta_{\text{GPU}}^*(M, N)$ in the GPU running time (3) is just the period of assignment (8). Note that the product (6) is not returned back (in MATLAB notation, not gathered) to CPU. And, theoretically, PCP $p_{\text{GPU}}(M, N)$ and $p_{\text{GPU}}^*(M, N)$ are expected to be the same. However, some differences occur [1, Figure 7 on p. 247, Figure 10 on p. 248, Figure 13 on p. 249].

For some maximum numbers M_{max} and N_{max} , the goal is to find those subranges

$$R_M \times R_N \subset \left\{ \overline{2, M_{\text{max}}} \right\} \times \left\{ \overline{2, N_{\text{max}}} \right\} \tag{9}$$

at which the following inequalities are true:

$$t_{\text{GPU}}(M, N) < t(M, N), \quad t_{\text{GPU}}^*(M, N) < t(M, N), \quad p_{\text{GPU}}(M, N) < p(M, N), \quad p_{\text{GPU}}^*(M, N) < p(M, N) \\ \text{by } \{M, N\} \in R_M \times R_N \subset \left\{ \overline{2, M_{\text{max}}} \right\} \times \left\{ \overline{2, N_{\text{max}}} \right\}. \tag{10}$$

The relationship between $t_{\text{GPU}}(M, N)$ and $t_{\text{GPU}}^*(M, N)$ along with $p_{\text{GPU}}^*(M, N)$ and $p_{\text{GPU}}(M, N)$ ought to be ascertained. Thus we have three objects to be evaluated and compared pairwise [1].

Range of numbers of lines and columns in TSSM

To complete the range of numbers of lines and columns in TSSM, appoint the maximum numbers M_{max} and N_{max} . Obviously, they must be identical. The abscissa and ordinate axes in Figures 6 — 14 of the article [1] allow to put $M_{\text{max}} = N_{\text{max}} = 500$. Excepting MIP where singly two matrices on GeForce GTS 450 are preassigned [1, Figure 8 on p. 247], the range may be shortened by to $M_{\text{max}} = N_{\text{max}} = 400$.

Clocking the running times and estimations

For clocking the running times, we use the mentioned three types of NVIDIA[®] GPU [1, Figures 1 — 3 on p. 245]. The conclusion about MATLAB `gpuArray` method not suitable for any square matrix computations on GeForce GT 610 [1, p. 249] does not restrict us to try this GPU for TSSM. Only DGPUMI will be executed single time because it takes badly increasing MIP by the cycled DGPUMI both for GeForce GTS 450 and Tesla K40c [1, Figure 4 on p. 245, Figure 5 on p. 246]. However, the inequality

$$\theta_{\text{GPU}}(M, N) > \theta(M, N) \tag{11}$$

observed in [1, Figure 6 on p. 246, Figure 8 on p. 247, Figure 9 on p. 247, Figure 11 on p. 248, Figure 12 on p. 248, Figure 14 on p. 249] should be nonetheless checked for TSSM.

An appropriate number of cycles to ensure stable statistical estimation of the running times shouldn't be necessarily equal to 1000. For accelerating estimation procedures, we take 100 cycles. This is enough to make qualitative conclusions.

After the MATLAB code for multiplying TSSM has been run and executed, we visualize 3D graphs of the meshed surfaces in the inequalities (10) and (11) and $\theta_{\text{GPU}}^*(M, N)$. Note that CPU are different for GeForce GTS 450 and Tesla K40c (GeForce GT 610 is with the same CPU as Tesla K40c), so graphs of the CPU running time (1) and its MIP $\theta(M, N)$ and PCP $p(M, N)$ will be re-visualized afresh.

When matrices are preassigned during 100 cycles (100-preassignment), GeForce GT 610 is fully inefficient (compare Figures 1 — 3 to Figures 4 — 6). Deplorably, DGPUMI by 100-preassignment for this GPU is impracticable, because it took more than two days to plot the meshes on just $\{2, 23\} \times \{2, 400\}$. Firstly, it took about 16 minutes to plot the line at $M = 3$ after $M = 2$. Further, the time was increasing progressively (half an hour for $M = 4$, 44 minutes for $M = 5$, ...). Finally, the line at $M = 23$ after $M = 22$ was plotted taken 4 hours and 22 minutes.

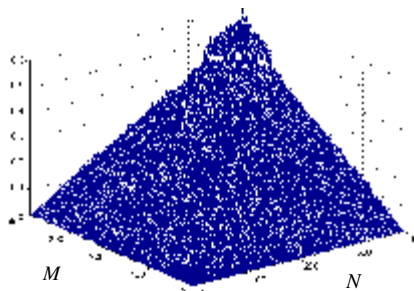


Fig. 1. MIP in the CPU running time (1) before GeForce GT 610 is enabled by 100-preassignment

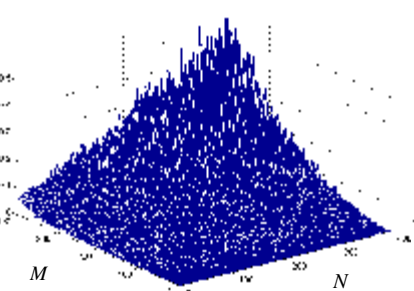


Fig. 2. PCP in the CPU running time (1) before GeForce GT 610 is enabled by 100-preassignment

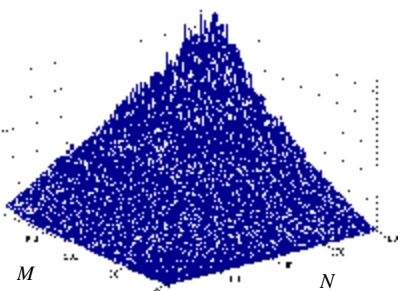


Fig. 3. The CPU running time (1) before GeForce GT 610 is enabled by 100-preassignment

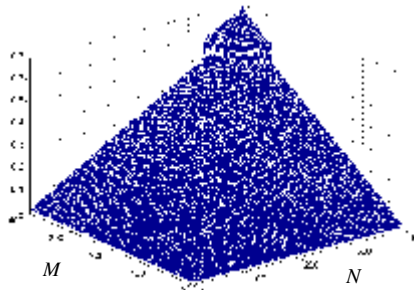


Fig. 4. MIP for CPUMI-GPU in the GPU running time (2) for GeForce GT 610 by 100-preassignment

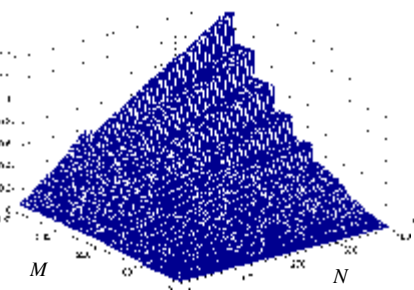


Fig. 5. PCP on GeForce GT 610 in the GPU running time (2) by 100-preassignment

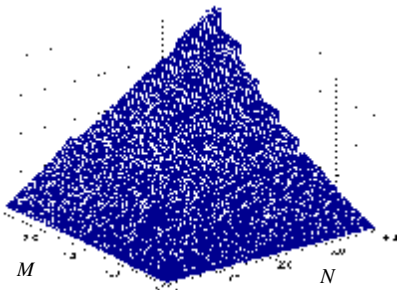


Fig. 6. The GPU running time (2) for GeForce GT 610 by 100-preassignment

When GeForce GTS 450 is on, MIP is shorter for CPU by $M > 150, N > 150$ (compare Figures 7 — 9 to Figures 10 — 12). PCP and the GPU running time (2) are surely shorter by $M > 250$ independently of N . DGPUMI by 100-preassignment for this GPU is impracticable also: it took 27, 45, 63, 80, 97, 115, 132, 150, 167 minutes to plot the meshes on $\{2, 11\} \times \{2, 400\}$ going by $M = 2$ through $M = 11$.

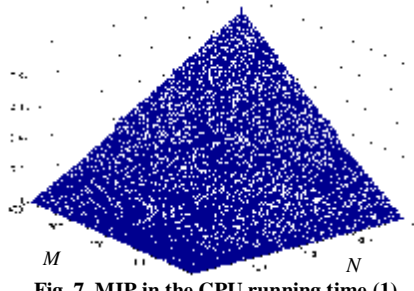


Fig. 7. MIP in the CPU running time (1) before GeForce GTS 450 is enabled by 100-preassignment

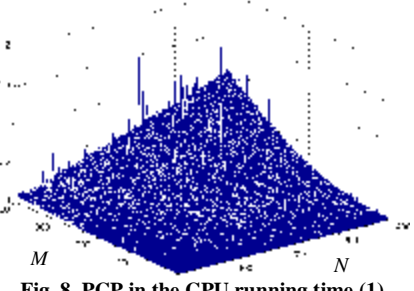


Fig. 8. PCP in the CPU running time (1) before GeForce GTS 450 is enabled by 100-preassignment

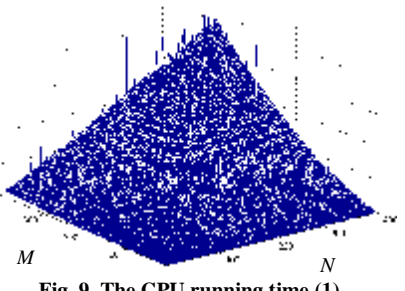


Fig. 9. The CPU running time (1) before GeForce GTS 450 is enabled by 100-preassignment

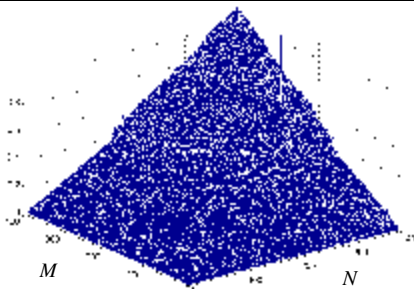


Fig. 10. MIP for CPUMI-GPU in the GPU running time (2) for GeForce GTS 450 by 100-preassignment

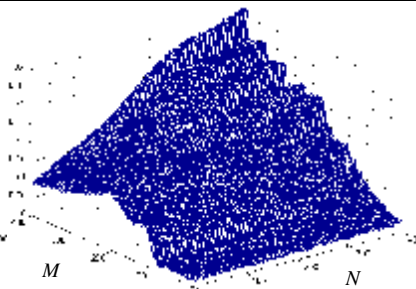


Fig. 11. PCP on GeForce GTS 450 in the GPU running time (2) by 100-preassignment

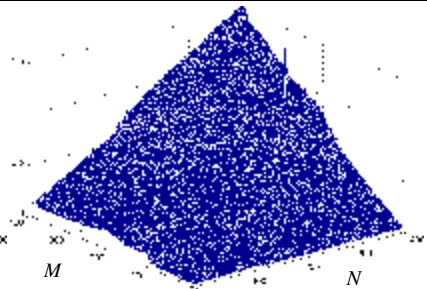


Fig. 12. The GPU running time (2) for GeForce GTS 450 by 100-preassignment

Amazingly enough, the meshes for Tesla K40c by 100-preassignment have strange region over $\{2, 192\} \times \{2, 400\}$ (compare Figures 13 — 15 to Figures 16 — 18). The experiment was canceled after $M = 192$. Nevertheless, MIP on $\{193, 400\} \times \{2, 400\}$ are very similar for CPU and Tesla K40c. Resuming (restarting) the experiment since $M = 193$, the GPU appears better than CPU (see the abrupt drop in Figures 17 and 18):

$$p_{\text{GPU}}(M, N) < p(M, N) \text{ and } t_{\text{GPU}}(M, N) < t(M, N) \text{ by } \{M, N\} \in \{193, 400\} \times \{50, 400\}. \quad (12)$$

Note, however, that such an effect of hang makes Tesla K40c not so reliable as it might be expected. DGPUMI by 100-preassignment for Tesla K40c is impracticable: it took 17, 31, 44, 56 minutes progressively to plot the meshes on $\{2, 6\} \times \{2, 400\}$ going by $M = 2$ through $M = 6$.

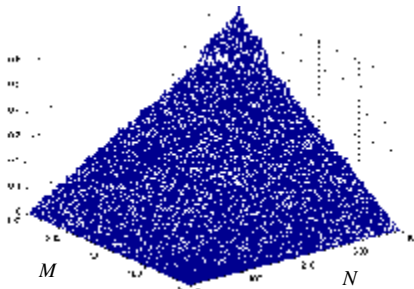


Fig. 13. MIP in the CPU running time (1) before Tesla K40c is enabled by 100-preassignment

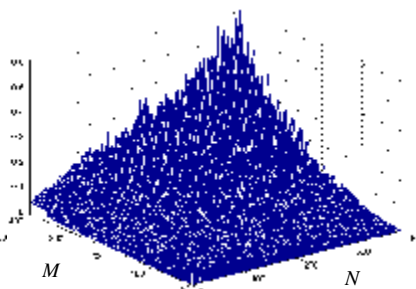


Fig. 14. PCP in the CPU running time (1) before Tesla K40c is enabled by 100-preassignment

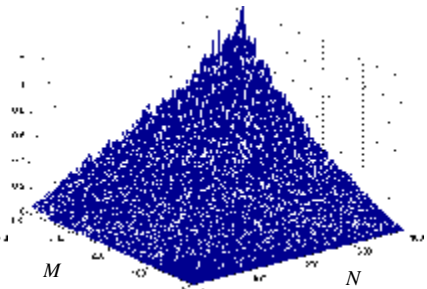


Fig. 15. The CPU running time (1) before Tesla K40c is enabled by 100-preassignment

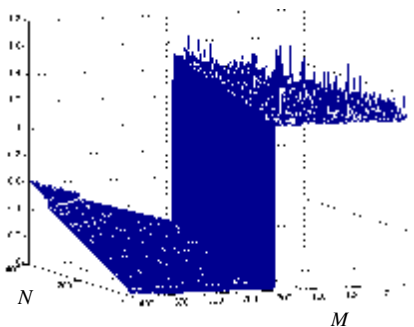


Fig. 16. MIP for CPUMI-GPU in the GPU running time (2) for Tesla K40c by 100-preassignment; the unexpected strange region over $\{2, 192\} \times \{2, 400\}$ is occasional, but it looks like such poor starts of Tesla K40c can be systematic

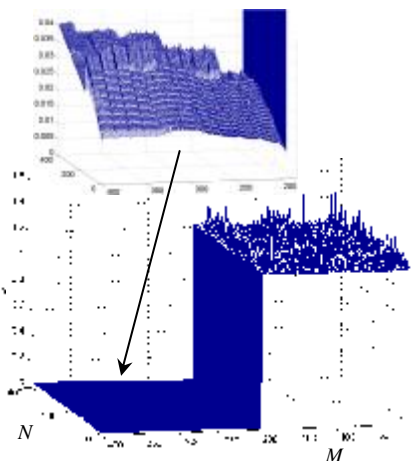


Fig. 17. PCP on Tesla K40c in the GPU running time (2) by 100-preassignment

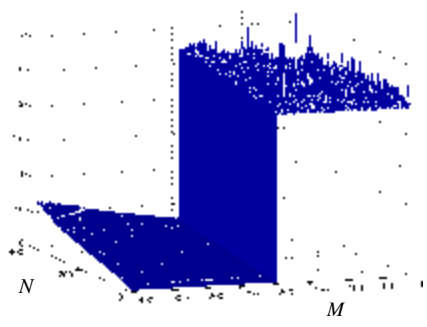


Fig. 18. The GPU running time (2) for Tesla K40c by 100-preassignment; the unexpected strange region over $\{2, 192\} \times \{2, 400\}$ is aftermath of the worst MIP and PCP, whose inapplicability makes Tesla K40c not so reliable

When matrices are preassigned singly (1-preassignment), GeForce GT 610 is fully inefficient again (compare Figures 19 — 21 to Figure 22, where PCP on GeForce GT 610 in the GPU running time (2) by 1-preassignment is very similar to the mesh in Figure 22, and MIP for CPUMI-GPU is close to MIP in Figure 19). DGPUMI is senseless (Figure 23).

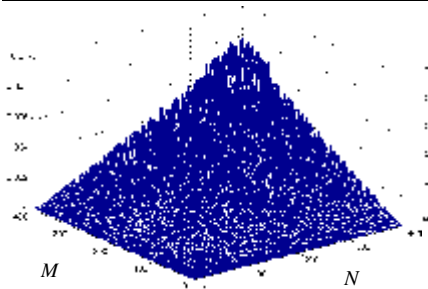


Fig. 19. MIP in the CPU running time (1) before GeForce GT 610 is enabled by 1-preassignment

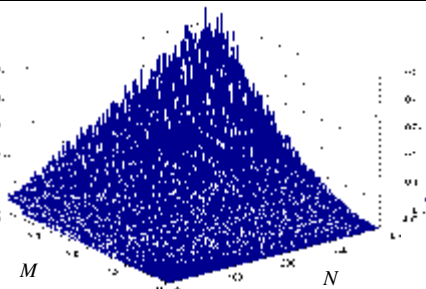


Fig. 20. PCP in the CPU running time (1) before GeForce GT 610 is enabled by 1-preassignment

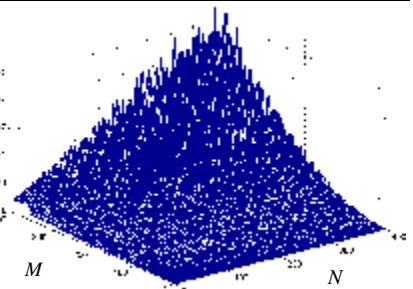


Fig. 21. The CPU running time (1) before GeForce GT 610 is enabled by 1-preassignment

GeForce GTS 450 looks pretty efficient by 1-preassignment (Figure 24 and Figure 26) by $M > 200$ and $N > 50$. MIP for DGPUMI is problematic for 2×2 -matrices lasting up to, particularly, 0.736 second. Such a long MIP is likely taken for the GPU commutation (porting). Owing to generally short MIP, PCP and the corresponding running times (1) — (3) are very similar. By 1-preassignment, DGPUMI is fully ineffective (Figure 26). Curiously enough, the GPU running time (3) for GeForce GTS 450 by 1-preassignment is independent of N , increasing quasi-linearly as M increases. Below, the same disappointing DGPUMI results will be revealed for Tesla K40c.

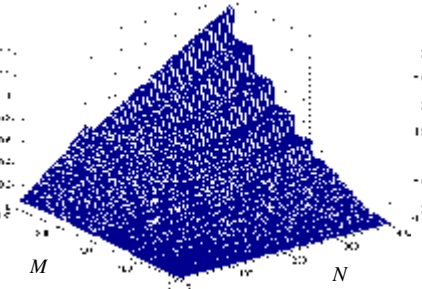


Fig. 22. The GPU running time (2) for GeForce GT 610 by 1-preassignment

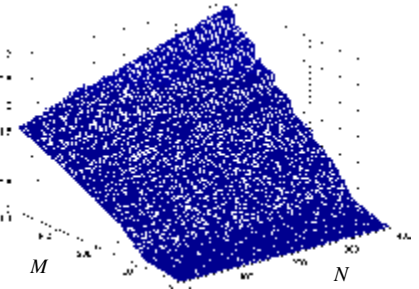


Fig. 23. The GPU running time (3) for GeForce GT 610 by 1-preassignment

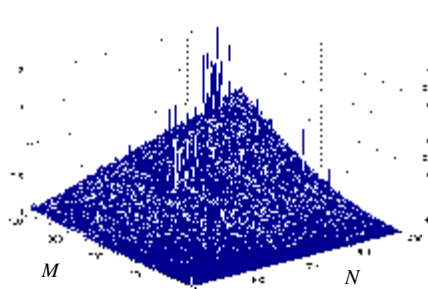


Fig. 24. The CPU running time (1) before GeForce GTS 450 is enabled by 1-preassignment

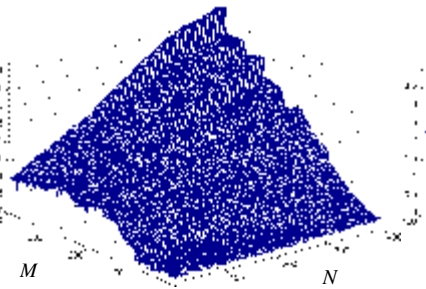


Fig. 25. The GPU running time (2) for GeForce GTS 450 by 1-preassignment

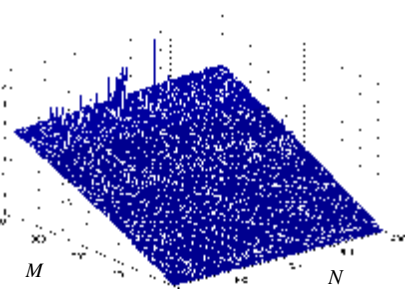


Fig. 26. The GPU running time (3) for GeForce GTS 450 by 1-preassignment

The real RTE is observed when by 1-preassignment Tesla K40c is enabled (compare Figures 27 — 29 to Figures 30 — 32), excepting DGPUMI (Figure 33 and Figure 34, where a strange region over $\{2, 79\} \times \{2, 400\}$ befell again forcing to restart the experiment from $M = 80$). Here

$$p_{GPU}(M, N) < p(M, N) \text{ and } t_{GPU}(M, N) < t(M, N) \text{ by } \{M, N\} \in \{70, 400\} \times \{10, 400\} \quad (13)$$

is true almost surely. MIP for DGPUMI is again problematic for 2×2 -matrices lasting up to, particularly, 2.231 seconds taken for the GPU commutation (porting).

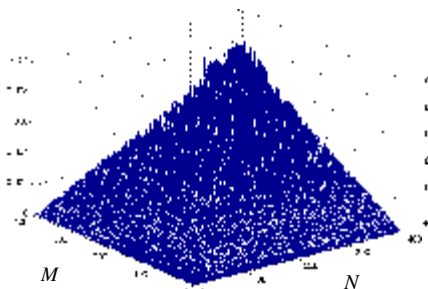


Fig. 27. MIP in the CPU running time (1) before Tesla K40c is enabled by 1-preassignment

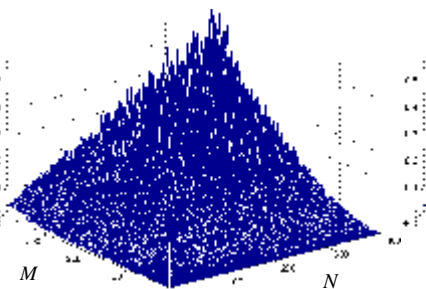


Fig. 28. PCP in the CPU running time (1) before Tesla K40c is enabled by 1-preassignment

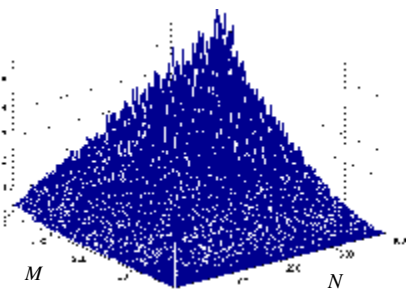


Fig. 29. The CPU running time (1) before Tesla K40c is enabled by 1-preassignment

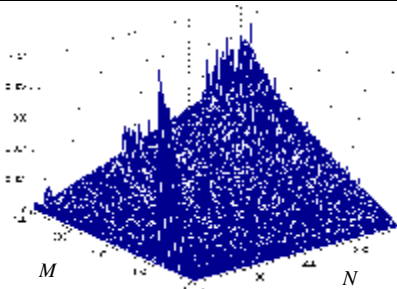


Fig. 30. MIP for CPUMI-GPU in the GPU running time (2) for Tesla K40c by 1-preassignment

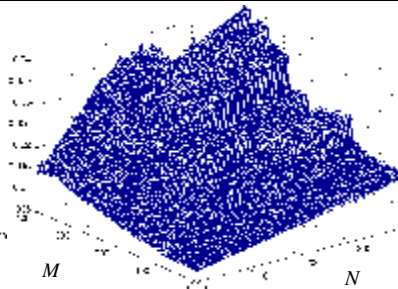


Fig. 31. PCP on Tesla K40c in the GPU running time (2) by 1-preassignment

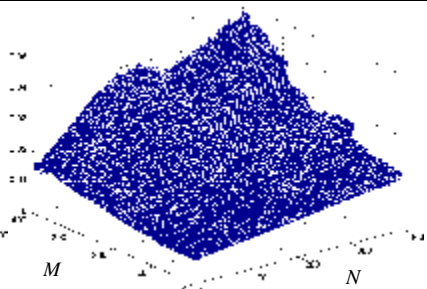


Fig. 32. The GPU running time (2) for Tesla K40c by 1-preassignment

Review of results and conclusion

The research results in Figures 1 — 34 fairly expose the limitation of MATLAB `gpuArray` method effectiveness. Generally, using MATLAB `gpuArray` method for calculating products of TSSM is effective when number of lines of the first matrix is about a hundred and greater. Namely, GeForce GTS 450 is efficient when number of lines and columns of the first matrix is greater than 200 and 50, respectively. Tesla K40c is efficient

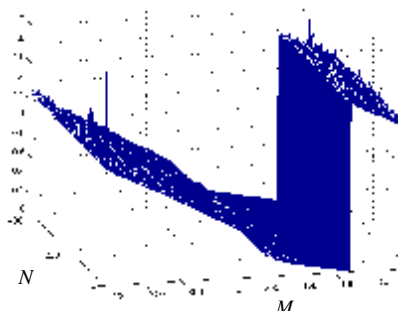


Fig. 33. PCP on Tesla K40c after DGPUMI in the GPU running time (3) by 1-preassignment

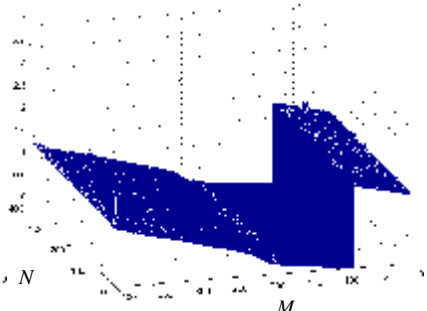


Fig. 34. The GPU running time (3) for Tesla K40c by 1-preassignment

when number of lines and columns of the first matrix is greater than 70 and 10, respectively. Unlike GeForce GTS 450 and Tesla K40c, GeForce GT 610 is out of competitiveness [1]. However, now such a disappointing conclusion is not only for square matrix product, but also for nonsquare matrix product calculation. Another result repeating a finding in [1] is that, independently of the size, generating matrices directly on GPU is fully inefficient. Obviously, this is not just a MATLAB `gpuArray` method problem. The reason is those hangs of Tesla K40c for CPUMI-GPU (Figures 16 — 18). No hangs of GeForce GTS 450 were registered, although there are some pleated regions in Figure 11 and Figure 25. Consequently, optimal parallelization [6, 7] of matrix computations with MATLAB Parallel Computing Toolbox using its `gpuArray` method comes both with large sized matrices (at least, if nonsquare, starting at about 70×10), and accurate configuration of GPU, the operating system, CPU.

References

1. Romanuke V. V. MATLAB `gpuArray` method optimal use for square matrix product // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. — 2015. — № 3. — P. 243 — 250.
2. 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.
3. 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.
4. Kshemkalyani A. D. Distributed Computing Principles, Algorithms, and Systems / A. D. Kshemkalyani, M. Singhal. — Cambridge University Press, 2008. — 754 p.
5. Trobec R. Parallel Computing. Numerics, Applications, and Trends / R. Trobec, M. Vajteršic, P. Zinterhof (Eds.). — Springer, 2009. — 530 p.
6. Coppersmith D. Matrix multiplication via arithmetic progressions / D. Coppersmith, S. Winograd // Journal of Symbolic Computation. — 1990. — Volume 9, Issue 3. — P. 251 — 280.
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.

Рецензія/Peer review : 26.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 2.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**ANALYSIS OF PERFORMANCE OF COMPUTING DEVICES
WITH ART K -VALUED NEURAL NETWORK**

In this article, the using of the K -valued neural network of adaptive resonance theory for classification K -valued output signals of logic elements and devices of computer engineering is considered. This allows automating processes of identifying situations that may cause fails in digital devices.

Keywords: performance of computing devices, ART K -valued neural network, classification of K -valued signals, digital devices' fails.

С.Ю. ЛЕОНОВ
Национальный технический университет "ХПИ"

**АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ K -ЗНАЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ АРТ**

В статье рассматривается использование K -значной нейронной сети адаптивной резонансной теории для классификации K -значных выходных сигналов логических элементов и устройств вычислительной техники. Это позволяет автоматизировать процессы идентификации ситуаций, которые могут привести к сбоям в цифровых устройствах.

Ключевые слова: работоспособность вычислительных устройств, K -значная нейронная сеть АРТ, классификация K -значных сигналов, сбои в цифровых устройствах.

The problem statement and analysis of related works. Presently, it's impossible to analyze capacity of the designed devices without application of the different design system. These are well-known systems of Boole functional design ORCAD [1] and PCAD [2], systems of analog design MICROCAP [3]. However, most of the binary design systems do not allow to get the complete picture of complicate modern fast-operating microcircuits with the high integration degree switching character, and the analog systems do not allow analyzing difficult devices. In this connection, it is suggested in [4] to use a computer-aided design based on K -value differential calculation, which allows more complete, in comparison with binary design, to present the processes of Boole signals' switching and simulate difficult enough computing devices. However, the practical usage of this design system requires the information, which of the obtained switching processes are of fail risks and which ones are the correct switching from one stable state to other one.

Regarding this, the example of development of programmatic realization of a neuron network which was used for determinating types of switching signals in logical elements on the basis of thirteen-digit alphabet of Fantozi [6] was considered in the article [5]. A two-layer neuron network on the basis of K -value neurons, trained on the basis of Hebb's rule for K -value neurons, was used. In practice, however, data which is used for training or self-training a network are often incomplete. For example, if we consider an image, which refers to a new class, and it is to be recognized, the ordinary two-layer neuron network fails to do this task [7, 8, 9]. The Hebb's neuron network can't identify new images, and also doesn't have an ability to resume the training process, because of the new image training results in distortion of the already memorized information. That's why, for correct training, all the memorized information must be used. Thus, two-layer or multi-layered networks using the Hebb's algorithm for training or method of error back-propagation don't have the stability property, i. e. the property of saving the known information by memorizing the new information.

The networks of adaptive resonance theory (ART) were developed for solution of this problem. Namely, this is about memorizing of new classes of images by a neuron network without distortion or loss of the already stored information [10]. In this case, it is suggested to use ART neuron networks for correct switching and switching, which contains the information about the fail risks during transition of logical signals from one stable state to other one.

At the input image of signal, the network of ART-1 tries to associate it with some class from a number already available. In particular, it can be one of types of switching of output logical element from one stable state to other one. If the class of switching is found successfully, classification of signal is accomplished. Thus a signal can be referred either to the class of the correct switching or to the class of signals, which are of the fail risks. If the corresponding class was not found, a new class is created. After that the created signal is used as a prototype (typical representative) for a new class. Here, the known classes do not change.

The article goal is development of K -value neuron network on the basis of adaptive resonance theory for classification of signals, which occur while digital computing devices are designed in the design system based on K -value differential calculation.

The main chapter. Let's consider an ART K -value neuron network which classifies thirteen types of signals in the K -value type by using the seven-digit alphabet. The input data are obtained from design system based on K -value differential calculation. The thirteen typical signals which are obtained from this system are shown in the Fig. 1.

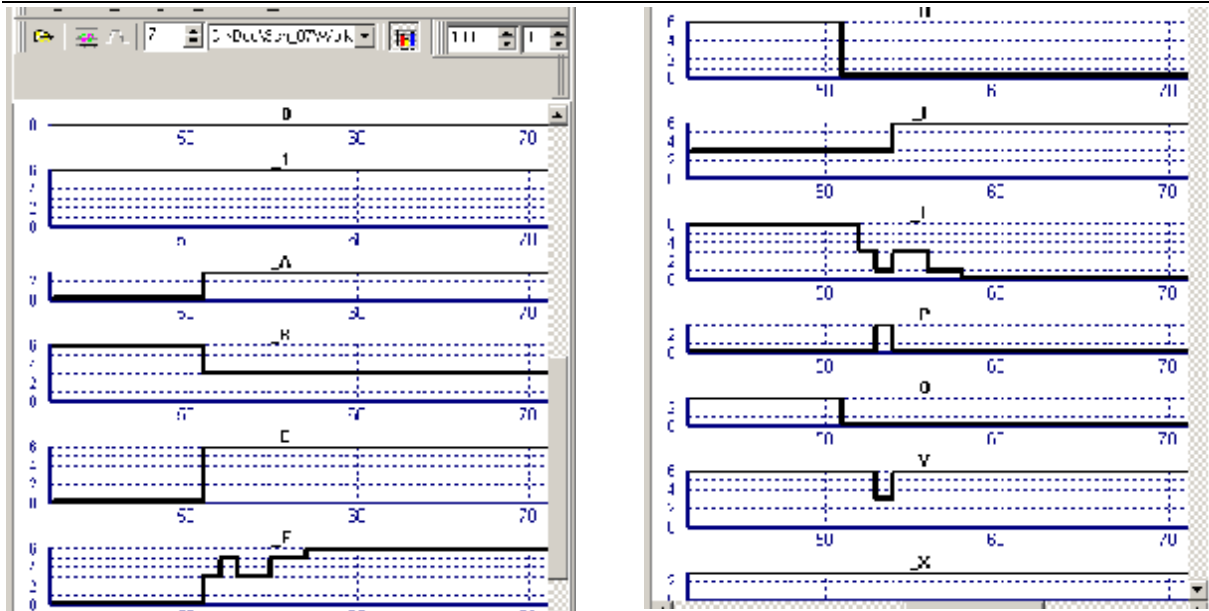


Fig. 1. Thirteen types of signals in the K -value type by using the seven-digit alphabet, obtained in the system on the basis of K -value differential calculation

According to using the seven-digit alphabet, the following thirteen types of signals are used [5]: the first from the top signal "_0" corresponds to the static binary signal of zero level, next signal "_1" is the value $K-1$, relating to the value of level of static binary "unit", next signal "_A" corresponds to the transition from zero to the indeterminate state $(K-1)/2$, signal "_B" corresponds to the transition from $K-1$ to the indeterminate state $(K-1)/2$, "_E" corresponds to the transition from zero to $K-1$, "_F" corresponds to dynamic fail risk during the transition from zero to $K-1$, "_H" corresponds to the normal transient process from $K-1$ to zero, "_I" corresponds to the transition from the indeterminate state $(K-1)/2$ to $K-1$, "_L" corresponds to dynamic fail risk during the transition from $K-1$ to zero, "_P" corresponds to static fail risk in the zero, "_O" corresponds to the transition from the indeterminate state $(K-1)/2$ to zero, "_V" corresponds to static fail risk in $K-1$, signal "_X" corresponds to the value of indeterminate state $(K-1)/2$ at binary presentation of signals. These signals must be stored in memory of K -value neuron network ART-1K whose architecture is shown in Fig. 2.

Architecture of the network consists of three groups of neurons: field F_1 of input processing neurons, which, in its turn, consists of two layers S - and Z -elements; layer of recognition Y -neurons and control neurons R, G_1, G_2 (Fig. 2).

Field F_1 of input processing neurons consists of two layers – the input layer of S -elements and the interface layer of Z -elements. The input layer perceives the image and passes the obtained information to the neurons of the interface Z -layer and the controlling neurons R, G_1, G_2 . Every element Z_i ($i = 1, \dots, n$) in the interface layer relates to every element Y_j ($j = 1, \dots, m$) of the recognizing layer Y by two types of the weighted connections. Signals from the peripheral layer are passed to the layer Y by bottom-to-top connections with weights W_{ij}^1 , and from the recognizing layer to

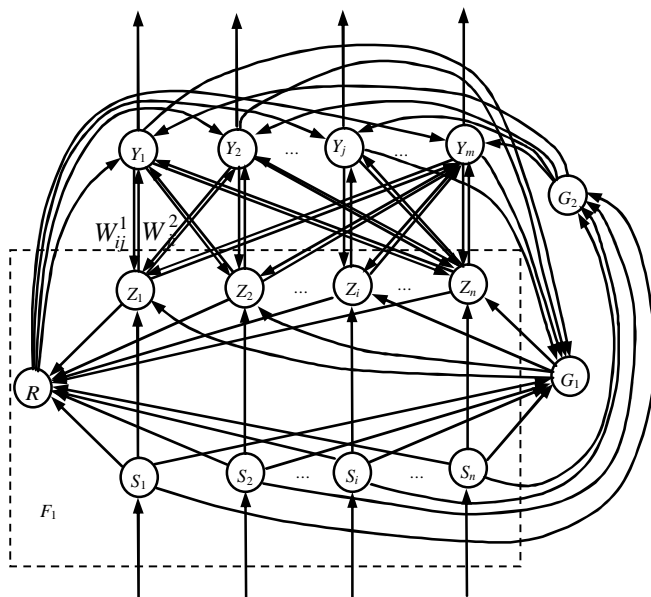


Fig. 2. Architecture of neuron network ART-1K

the interface – by connections with weights W_{ji}^2 , ($j = 1, \dots, m, i = 1, \dots, n$). Because of great number of connections only one pair of connections with weights W_{ij}^1, W_{ji}^2 between the interface and recognizing layers of elements is shown in Fig. 2.

Layer Y is the layer of competitive or competing neurons. At any moment every element Y_j ($j = 1, \dots, m$) of the recognizing layer is in one of three states:

- active (output signal U_{outY_j} of neuron Y_j is equal to d : $U_{outY_j} = d$; $d = 6$ for ART-1K, at value of source alphabet $K = 7$);
- inactive ($U_{outY_j} = 0$, but a neuron can participate in the competition);
- inhibited ($U_{outY_j} = -1$ and a neuron is not allowed to competitions).

After producing of input image, one recognizing neuron is active only, all other Y -elements have zero or subzero output signals. In the training mode, the selected recognizing neuron is allowable to be trained by the input image only in the case, when its weighting connection vector from the layer Y to Z is similar to the input vector. This solution is made with help of R -neuron and a special parameter, which is named as parameter of similarity, and signals, which are transferred from the input and interface layers of elements. The selected recognizing Y -element is either trained or inhibited (reset) with further excluding it from the set of the competing ones. The inhibition is performed in the case, when there are repeats of the same input image, and if new candidates to training are selected from Y -layer.

Most connections, which are shown in Fig. 2, are excitant: from the input layer of S -elements to the neurons R , G_1 , G_2 and Z -layer, from neurons G_1 , G_2 to neurons of layers Z and Y , correspondingly. Inhibiting signals pass the great numbers of connections from interface elements to R -neuron and from Y -neurons to element G_1 , from R -neuron to the winner neuron in the recognizing layer only. All connections of the network ART-1K pass K -value signals from an alphabet $M = \{0, 1, 2, \dots, K - 1\}$.

Every element in the interface or Y -layer of the network ART-1K has three sources of input signals. Any interface element Z_i ($i = 1, \dots, n$) can get signals from an element S_i of the input layer, from Y -layer elements, and neuron G_1 . Analogously, element Y_j ($j = 1, \dots, m$) can get signals from interface elements, neurons R and G_2 . For switching neurons of interface or recognizing layers to active state, the existence of two sources of input excitant signals is needed. As each of the examined neurons has three possible sources of signals, the condition of excitation of these neurons was named by "rule two-from-three".

In the initial state, the neurons R , G_1 , G_2 and input layer S have zero output signals. When K -value components of the image are input into the S -elements, a part of them, which gets nonzero input signals ($U_{out} > 0$), is switched to excited state. Excitant signals from the outputs of these neurons switch neurons G_1 , G_2 to the state "6", and also come to the input of the corresponding neurons of the interface layer. Neurons of the interface layer, which got the signals from the input layer neurons and element G_1 , by the rule two-from-three, pass to active state and send their excitant signals via connections with weights W_{ij}^1 ($i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$) on the inputs of neurons Y_j in the recognizing layer. The neurons of the recognizing layer pass to active state by rule two-from-three while they get excitant signals from the elements of the interface layer, and from the element G_2 as well. Output signals of active Y -neurons are determined by the expression

$$U_{outY_j} = U_{inpY_j} = \sum_{i=1}^n W_{ij}^1 U_{outZ_i}, \quad j = 1, \dots, m,$$

and meet the condition $0 < U_{outY_j} \leq 6$.

Then a lateral process of selection of the unique element J with a greatest output signal takes its place in Y -layer neurons. All the Y -layer neurons, except the winner Y_J , are switched to the nonactive state "0" ($U_{outY} = 0$), and winning neuron – to the state with the unit ($K = 6$) output signal. The winning Y -neuron signal inhibits the controlling neuron G_1 , and also comes to the interface layer neurons' inputs via connections with weights W_{ji}^2 . Because the elements of the interface layer are under the rule two-from-three, when the excitant signal from the neuron G_1 is absent, the interface elements which get the signals from both the input layer element and the winning Y_J -neuron recognizing layer, are in the active state only. The inhibiting signals of the interface layer active elements come to inputs of R -element, which gets excitant signals from the neurons of the input layer also. Depending on the ratio between values of excitant and inhibiting signals, the output signal of the controlling element R is determined.

When R -element output signal is equal to zero the resonance occurs in the neural network and the training of the connection weights of the winning Y -neuron runs. When the output state is equal to unit, the winning Y -neuron is inhibited ($U_{outY} = -1$), and, in fact, it loses possibility to take a participation in the competition when the input image is input. Then in Y -layer the new winning neuron is chosen. If the input image isn't enough similar to the one of the memorized ones, all of the used Y -neurons appear inhibited and as the winner will be selected from the unused neurons, which memorizes the new image in its weights.

On the basis of the rapid training, the method [11] for training the neuron network ART-1K is accepted. For instance, this method can be used for analyzing performance of the adder [11].

Signals at the input, output and at the internal elements of the adder can have a form of switching processes seen in Fig. 1, where 13 types of signals from the Fantozi alphabet are shown, each of which can be on every input of the multidigit adder as informative signal, and they correspond to K -value signals of the design system on basis of K -value differential calculation. This K -value signals ($K = 7$) are explored within the 17-cycles-window (Fig. 3), which corresponds to duration of delays of the adder elements. At the input of K -value neuron network ART-1K they are transformed into a vector of dimension $17 \times 7 = 119$ elements. A type of K -value signals at the input of the block of signal automated identification is shown in Fig. 4.

In real devices, the type of switching signals can be close to the shown ones, but not coincide fully along with such varying. Therefore, training the neuron network ART-1K was executed on signals, where each of them was in the field, having three ranges in accordance with the seven-digit alphabet: [0 – 1], [2 – 4], [5, 6], as it is shown in Fig. 4.

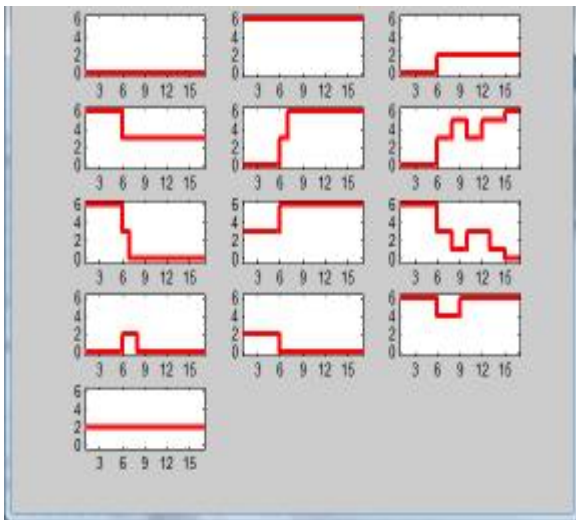


Fig. 3. K -value signals at the input of the neuron network ART-1K

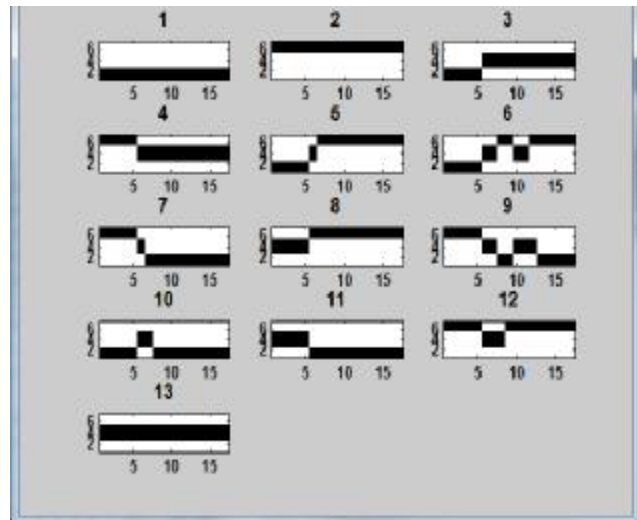


Fig. 4. Fields of K -value signals at the input of the neuron network ART-1K in the training mode

After training, the neuron network was tested signals from the Fantozi alphabet. Each of those signals belongs to the mentioned ranges of deviation. Based on the experiments, it was concluded that the developed neuron network correctly classifies 95 % of the produced signals.

Conclusions. Thus, based on the adaptive resonance theory and discrete neuron network ART-1, the K -value neuron network has been developed for classification signals, which can appear during digital devices simulation by the simulation system based on K -value differential calculation. The method of applying the neuron network ART-1K for analyzing performance of computing devices has been developed. The testing of the developed neuron network confirmed its functionality and possibility to apply the network in the simulation system based on K -value differential calculation.

References

1. Razevig V.D. System of design digital devices OrCAD / V.D. Razevig. – M. : Solon, 2000. – 160 p.
2. Razevig V.D. Application of the programs P-CAD and PSpice for a scheme design on PC: In 4 issue. / V.D. Razevig. – M. : Radio and Communications, 1992.
3. Razevig V.D. System for a scheme simulation MICRO-CAP 5 / V.D. Razevig. – M. : Solon, 1997 – 152 p.
4. Gladkykh T.V. System of K -value simulation for research switching processes in digital devices / T.V. Gladkykh, S.YU. Leonov // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov : NTU "KhPI". – 2005. – Issue. 56. – P. 175–187.
5. Dmitrienko V.D. Use of neuron network on basis of K -value neurons for recognition of risks of failures / V.D. Dmitrienko, S.YU. Leonov, T.V. Gladkykh. – Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov : NTU "KhPI". – 2011. – Issue. 36. – P. 52–60.
6. Aktouf C. A complete strategy for testing an on-chip multiprocessor architecture / C. Aktouf // IEEE Design & Test of Computers. – 2002. – Issue. 1. – P. 18–28.
7. Rutkowski L. Methods and techniques of artificial intelligence / L. Rutkowski. – M. : Hot line – Telecom, 2010. – 520 p.
8. Krug P.G. Neural networks and neurocomputers / P.G.Krug. – M. : Izdatelstvo MEI, 2002. – 176 p.
9. Grossberg S. Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance / S. Grossberg // Cognitive Science. – 1987. – № 11. – P. 13–25.
10. Noskov V.I. Modelling and optimization of management and control systems of locomotives / V.I. Noskov, V.D. Dmitrienko, N.I. Zapalovsky, S.Y. Leonov. – Kharkov : KhFI "Transport of Ukraine", 2003. – 248 p.
11. Dmitrienko V.D. ART Neural networks with several fields of processing neurons / V.D. Dmitrienko, S.Y. Leonov, N.V. Mezentsev. – Weapons systems and military equipment. – Kharkov : Kharkiv Air Force University named after Ivan Kozhedub. – 2015. – № 1 (41). – P. 97 – 102.

Надійшла 20.10.2015

Рецензент: д. т. н. Романюк В. 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 № 3 від 29.10.2015 р.

Підп. до друку 26.02.2015 р. Ум.друк.арк. 18,26 Обл.-вид.арк. 22,65
Формат 30x42/4, 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