

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2016

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2016, Issue 2, Volume 235

Хмельницький

ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Наказ МОН 04.07.2014 №793

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2016, № 2 (235)

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

Включено до наукометричних баз:

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

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Войнаренко М. П. , д. е. н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент Національної академії наук України, проректор з науково-педагогічної та наукової роботи, перший проректор Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко М.П., д.т.н., Бубулис Алгимантас, д.т.н. (Литва), Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Жултовський Б., д.т.н. (Польща), Зубков А.М., д.т.н., Камбург В.Г., д.т.н. (Росія), Каплун В.Г., д.т.н., Карван С.А., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Кіницький Я.Т., д.т.н., Коновал В.П., д.т.н., Коробко Є.В., д.т.н. (Білорусія), Костогриз С.Г., д.т.н., Кофанов Ю.М., д.т.н. (Росія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Натріашвілі Т.М., д.т.н. (Грузія), Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Пастух І.М., д.т.н., Поморова О.В., д.т.н., Пановко Г.Я., д.т.н. (Росія), Попов В., доктор природничих наук (Німеччина), Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Ройзман В.П., д.т.н., Рудницький В.Б., д.фіз.-мат.н., Сарібеков Г.С., д.т.н., Сілін Р.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатиї Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Троцишин І.В., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Юрков М.К., д.т.н. (Росія), Ясній П.В., д.т.н.

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

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

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

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

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

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

ЗМІСТ

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

О. В. ОСАДЧУК, В. С. ОСАДЧУК, Я. О. ОСАДЧУК РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТИСКУ З ЧУТЛИВИМ MEMS КОНДЕНСАТОРОМ	7
О. М. ШИНКАРУК, І. І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, Л. В. КАРПОВА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ШИРИНИ СПЕКТРУ ВУЗЬКОСМУГОВОГО ІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛУ В УМОВАХ НЕЛІНІЙНОЇ ЧАСТОТНОЇ МОДУЛЯЦІЇ	14
Ю. С. ГОРОХОВ МЕТОД РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРУ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ППРЧ	18
О. В. ОСАДЧУК, А. Ю. САВИЦЬКИЙ, О. С. ЗВЯГІН ОБРОБКА СИГНАЛУ СЕНСОРА ЗА ДОПОМОГОЮ ДОТИЧНОЇ	20
V. V. ROMANUK EVOLUTION OF EXPERT COMPETENCES IN ESTIMATING A FINITE SET OF OBJECTS BY A GIVEN COMPARISON SCALE VIA PAIRWISE COMPARISON MATRICES WITHIN THE SPACE OF POSITIVE INVERSE-SYMMETRIC MATRICES	25
А. А. БУРЛАКОВ ОРГАНІЗАЦІЯ ГНУЧКОГО ДОСТУПУ ДО ДАНИХ В ДОДАТКАХ НА JAVA-ПЛАТФОРМІ	30
Ю. П. ЗАСПА КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОГО, СОНЯЧНОГО, ГАЛАКТИЧНОГО І МЕТАГАЛАКТИЧНОГО МАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА II	36
К. Ю. БОБРОВНИКОВА МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЯВЛЕННЯ БОТ-МЕРЕЖ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ DNS-ТРАФІКА	53
В. Л. МАРЧЕНКО, Д. І. СТОПЧАК ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДЕНОРМАЛІЗАЦІЇ БАЗ ДАНИХ	58
О. М. БЕРЕЗЬКИЙ, О. Й. ПІЦУН, С. О. ВЕРБОВИЙ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ МІКРОСКОПІЇ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	61
І. О. РОЗЛОМІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ МОДИФІКАЦІЄЮ ШИФРУ ГАМУВАННЯ	69
А. В. СНІГУР ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЧИТАННЯ ЛЮДИНОЮ ТЕКСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ	74
С. В. ПАВЛОВ, С. О. РОМАНЮК, В. П. ДУМЕНКО РОЗРОБКА ДИСТРИБУТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ВІДБИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	80
М. І. СТАДНІК ФУНКЦІОНАЛЬНІ СТРУКТУРИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОДНОРІДНИХ ОБ'ЄКТІВ	84
Ю. Б. ПАЛЯНИЦЯ СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОПРАЦЮВАННЯ ФОНОКАРДІОСИГНАЛУ ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЙОГО У ВИГЛЯДІ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ	90

Л.В. ХВОСТИВСЬКА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛУ СУДИН ЛЮДИНИ	94
Р.В. КОЧАН, Б.Р. ТРЕМБАЧ, Р.Б. ТРЕМБАЧ КОНЦЕПЦІЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗВУКОВОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ РОЗВІДКИ НА БАЗІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	101
В.А. СІВАК МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ КОНТРОЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ПУНКТИВ ОРГАНІВ ТА ГАРАЖІВ ПІДРОЗДІЛІВ ОХОРОНИ КОРДОНУ	105
МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ	
RÓBERT SÁSIK, MATÚŠ KOVALÍČEK, MIŠHAL HOŠ, PETER SPIŠÁK, RUDOLF MADAJ MANUFACTURING OF THE SPARE PARTS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY USING 3D PRINT WITH SLM METHOD	111
Ю.С. КРУТІЙ, М.Г. СУРЬЯНІНОВ ЗГІН КРУГОВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ЗІ ЗМІННОЮ ТОВЩИНОЮ	116
В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ КІНЕМАТИЧНИЙ СИНТЕЗ ВАЖЛИВИХ НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ ЗА ЗАДАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРЯМОЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ШАТУННОЇ КРИВОЇ	122
Н.Г. ШИРМОВСЬКА, І.Р. МИХАЙЛЮК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, Т.О. ВАВРИК, Н.Т. ЛАЗАРІВ МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ТА АЛГОРИТМ ДІАГНОСТУВАННЯ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ	127
С.О. КОШЕЛЬ, Г.В. КОШЕЛЬ СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ, УТВОРЕНИМ ШАТУНАМИ ТА ДВОМА СКЛАДНИМИ ЛАНКАМИ	133
М.В. БАБІЙ ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРЕСИВНИХ ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ В УМОВАХ РЕМОНТУ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	144
KIRILL SCHERBYNA FORCE DEPICTION OF THE RADIAL SIZE CHANGE OF THE HELICAL SPRING HONE	149
А.С. ЗЕНКІН, А.В. ПРИЦЕП, С.М. ЗЕНКІНА, О.В. МАЩЕНКО МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДАННЯ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР	155
П.В. КЕБА, Д.О. ДМИТРІЄВ, Д.Д. ФЕДОРЧУК АНАЛІЗ КІНЕМАТИКИ, ТОЧНОСТІ ТА ДИНАМІКИ ПІРАМІДАЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ ВЕРСТАТА З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ	161
А.А. ШТУЦЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ПЛОСКИХ КІЛЬЦЕВИХ І ФЛАНЦЕВИХ ЗАГОТОВОК	167
О.А. ДОРОФЄЄВ, О.П. ТЕРЕЩЕНКО ВПЛИВ УДАРУ НА КІНЕМАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН ШВЕЙНОГО ТА ВЗУТТЄВОГО ВИРОБНИЦТВА	171
АЛЬ-ЯФАЇ-НАСР, В.П. МІСЯЦЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ ВЗУТТЄВИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ДІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ НА ЛЕЗО НОЖА	175

Г.М. СОКОЛОВА ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ АЗОТУВАННЯ У ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ	181
Н.Г. СУРЬЯНИНОВ, И.А. ТВАРДОВСКИЙ, А.М. ЧУЧМАЙ КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ КЕССОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ	186
С.А. МАКСИМОВ, Ю.В. ПЕТУХОВ, А.В. РАДКЕВИЧ, И.В. ШИНКЕВИЧ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОКОН ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ИЗ ЛИСТОВ ПВХ ПРОБОЙНИКОМ НА ШВЕЙНОМ ПОЛУАВТОМАТЕ С МПУ	191
М.А. ЗЕНКІН, В.О. БОРКО, А.С. ЗЕНКІН ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ НА СТАДІЯХ НАУКОВО- ДОСЛІДНИХ І ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗРОБОК	196
Ю.А. БУРСЕННИКОВ, Л.Г. КОЗЛОВ, С.В. РЕПІНСЬКИЙ ОГЛЯД ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НАСОСАМИ ЗМІННОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ	202
А.У. VOZNYAK, А.О. VOZNYAK EQUAL-CHANNEL ANGULAR EXTRUSION OF POLYMERS	207
О.О. ЄФРЕМОВА, І.П. КРАЙНОВ, Н.Г. МІРОНОВА, Є.П. ШАГО СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ХМЕЛЬНИЧЧИНІ	212
О.О. РУБАНЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МІКРОМЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ (БІОАМАСИ)	216
ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
Н.М. ЗАЩЕПКИНА, Я.О. ЯЩЕНКО, А.А.МЕЛКОНЯН, А.О. БУРМИСТРОВА ТЕКСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ЯК БАР'ЄР ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ ВІД НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	221
І.А. МАНДЗЮК, Т.В. ІВАНШЕНА, К.О. ПРИСЯЖНА, О.П. МАНДЗЮК РОЗРАХУНОК ЛЮДСЬКОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТОКСИЧНОСТІ ШЛЯХОМ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА БІОТЕСТ-ОБ'ЄКТАХ	224
Е.А. ЗАХАРОВА, О.І. ХРИСТЮК, І.Г. СОЛОНЕНКО, Л.В. КОНДРАТЬЄВА ЗАСТОСУВАННЯ САПР ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ЛІКУВАЛЬНО-БАНДАЖНИХ ВИРОБІВ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ	230
І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК НАПРЯМКИ ПЕРЕОРІЄНТАЦІЇ ЗАКОНОДАВЧО-ПРАВОВОЇ БАЗИ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ ТА ОДЯГУ	234
Т.А. ПУДАЙЛО, І.М. БІЛОУС, В.С. ГОРОБЧИШИНА, О.В. МОРОЗ ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ В ТРИКОТАЖНИХ ВИРОБАХ	239
О.А. ДІТКОВСЬКА АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ ДІТЕЙ З МЕТОЮ ВИВЧЕННЯ ЇХ АНТРОПОМЕТРИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ	243
А.К. КАРМАЛІТА ОСОБЛИВОСТІ ДИЗАЙНУ МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	247

О.М. ГУЩАК, Б.Д. СЕМАК КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПОФАРБУВАНЬ РОСЛИННИМИ БАРВНИКАМИ НА ВОВНЯНИХ, ШОВКОВИХ І КАПРОНОВИХ ТКАНИНАХ	250
М.О. МАРУХЛЕНКО, О.Р. МОКРОУСОВА, О.А. ОХМАТ РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХРОМЗБЕРЕЖНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДУБЛЕННЯ ШКІР	258
У.Б. БУЧКІВСЬКА ВПЛИВ БАГАТОРАЗОВОГО ПРАННЯ ПЛАТТЯНО-КОСТЮМНИХ ТКАНИН НА ЇХ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ	263
А.Я. ГАНЗЮК, С.А. КАРВАН, Г.М. ДЕЙЧУК ЗАСТОСУВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ АДСОРБЕНТІВ У ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ, РОЗДІЛЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ГАЗОВИХ І РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ	266
Д.Г. САРІБЕКОВА, В.Ю. КУНИЦЬКИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕЛАСТАНОВИХ НИТОК НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	270
О.А. ПАРАСКА, В.О. КОВАЛЬСЬКА, С.А. КАРВАН СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ВИРОБНИЦТВА МИЙНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ	273

УДК 621.382

О. В. ОСАДЧУК, В. С. ОСАДЧУК, Я. О. ОСАДЧУК

Вінницький національний технічний університет

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТИСКУ З ЧУТЛИВИМ MEMS КОНДЕНСАТОРОМ

В статті розглянуто частотний перетворювач тиску на основі біполярно-польової транзисторної структури з від'ємним опором з тензочутливим MEMS конденсатором. Розроблена динамічна математична модель радіовимірювального перетворювача тиску, яка дозволяє визначити значення напруги або струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу при дії тиску. Отримано аналітичні вирази функції перетворення і рівняння чутливості. Чутливість розробленого пристрою складає від 0,98 кГц/кПа до 1,67 кГц/кПа.

Ключові слова: частотний перетворювач тиску, MEMS конденсатор, від'ємний опір.

A.V. OSADCHUK, V.S. OSADCHUK, I.A. OSADCHUK

Vinnytsia National Technical University

RADIOMEASURE PRESSURE TRANSDUCER WITH SENSITIVE MEMS CAPACITOR

The article deals with the frequency based on the pressure transducer bipolar-field transistors structure with negative resistance and tenzosenitivity MEMS capacitor. A mathematical model is developed dynamic radiomeasure pressure transducer that allows to determine the voltage or current in the circuit at any given moment in time when this pressure. Analytical expressions are received conversion function and sensitivity equation. The sensitivity of the developed device is between 0.98 kHz / kPa to 1.67 kHz / kPa.

Keywords: frequency pressure transducer, MEMS capacitor, negative resistance.

Вступ

На теперішній час мікроелектронні перетворювачі тиску знайшли широке застосування у техніці, їх переваги перед традиційними обумовлені, насамперед, застосуванням у них як чутливих елементів напівпровідникових матеріалів, групових методів їх обробки і формування в них вимірювальних схем підсилення й обробки сигналу методами мікроелектронної технології.

Радіовимірювальні перетворювачі з частотним виходом мають ряд переваг перед існуючими амплітудними, які полягають у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність вимірювання, а також у можливості отримання великих вихідних сигналів без попередніх підсилювальних пристроїв. Використання частотного сигналу в якості інформативного дозволяє відмовитися від аналого-цифрових перетворювачів, що підвищує економічність вимірювальної апаратури [1]. У даний час ведуться інтенсивні дослідження з вивчення властивостей аналогових мікроелектронних перетворювачів тиску [2, 3], хоча дослідження частотних перетворювачів тиску на основі реактивних властивостей біполярних та польових транзисторів знаходиться в початковій стадії [4–7]. Тому дана робота присвячена дослідженню функції перетворення та рівняння чутливості радіовимірювального перетворювача тиску на основі транзисторної структури з від'ємним опором.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Електрична схема перетворювача приведена на рис.1. Вона являє собою гібридну інтегральну схему, яка складається з біполярного і польового транзисторів, опору R_1 , а також тензочутливого MEMS конденсатора, що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою реалізований на основі еквівалентної ємності повного опору на електродах колектор біполярного транзистора VT1 і стік польового транзистора VT2 та пасивної індуктивності L . На тензочутливий MEMS конденсатор $C_p(P)$ діє тиск, який приводить до зміни еквівалентної ємності коливального контуру, що в свою чергу, викликає зміну резонансної частоти автогенератора [5]. Втрати енергії в коливальному контурі компенсуються за рахунок від'ємного опору [6]. Для вибору оптимального режиму роботи радіовимірювального перетворювача тиску в схемі використовується два джерела живлення постійної напруги U_1 та U_2 , але для зменшення собівартості

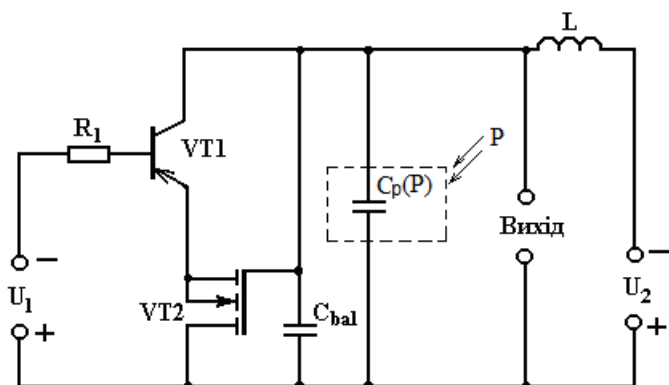


Рис. 1. Електрична схема радіовимірювального перетворювача тиску з чутливим MEMS конденсатором

радіовимірювального перетворювача тиску в подальшому буде використано лише одне джерело живлення.

Для визначення функції перетворення та чутливості на рис. 2 наведено еквівалентну схему радіовимірювального перетворювача тиску з чутливим MEMS конденсатором, яка реалізує залежність частоти генерації від зміни тиску.

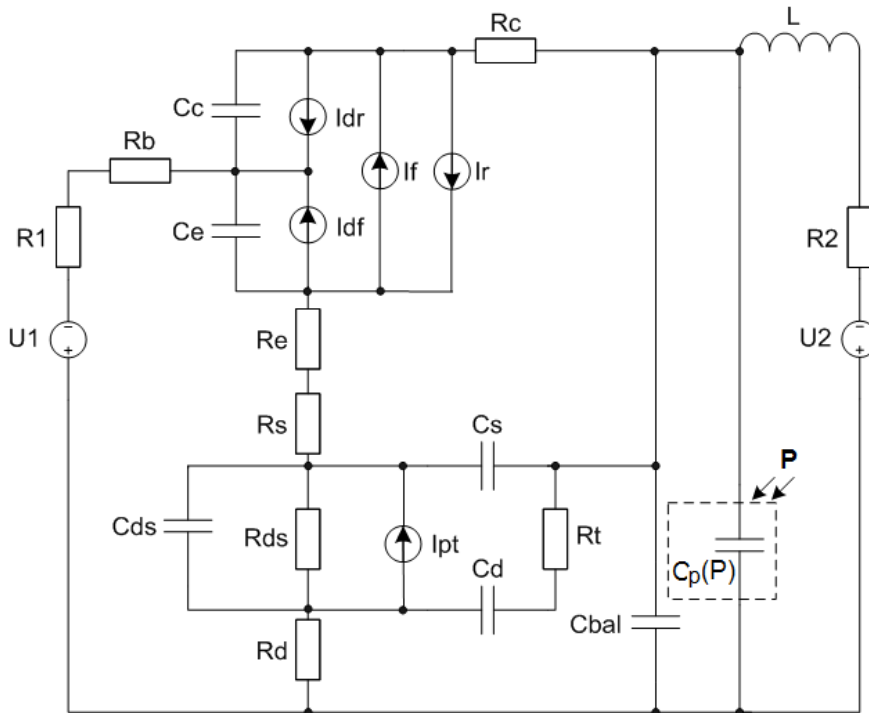


Рис. 2. Еквівалентна схема радіовимірювального перетворювача тиску

Для зручності розрахунків об'єднавши паралельні ємності $C_p(P)$ і C_{bal} у $C_i(P,t) = C(P) + C_{bal}$, та струми I_f і I_r у $I_{bt} = (I_f - I_r) / QB$, а також скориставшись методом змінних стану на рис. 3 наведено перетворену еквівалентну схему радіовимірювального перетворювача тиску.

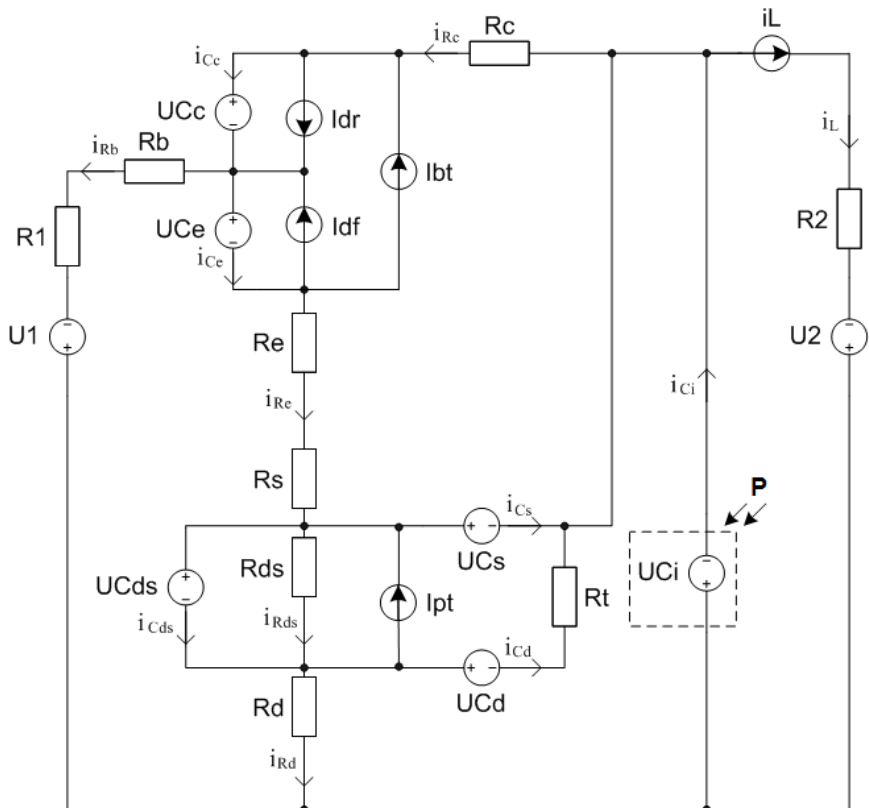


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема радіовимірювального перетворювача тиску

На основі вибраних напрямків струмів було складено систему рівнянь Кірхгофа вираз (1). Система рівнянь (1) є нелінійною оскільки містить в собі нелінійні елементи, а саме джерела струмів I_{pt} , I_{dr} , I_{df} , $I_{bt} = (I_f - I_r) / Q_B$ та ємності C_e , C_c . Система рівнянь (1) є динамічною математичною моделлю радіовимірювального перетворювача тиску, яка дозволяє визначити значення напруги або струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу.

$$\left\{ \begin{aligned} L \frac{di_L(t)}{dt} &= U_2 - (U_{C_i}(P,t) + i_L(t) \cdot R_2); \\ C_d \frac{dU_{C_d}(t)}{dt} &= \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t}; \\ C_{ds} \frac{dU_{C_{ds}}(t)}{dt} &= \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_i}(P,t)}{R_d} - \frac{U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}} + I_{pt} + \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t}; \\ C_s \frac{dU_{C_s}(t)}{dt} &= -\frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_i}(P,t)}{R_d} - \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t} - \frac{U_1 - U_{C_c}(t) - U_{C_i}(P,t) + A_5 R_c}{A_1} - A_5; \\ C_i \frac{dU_{C_i}(P,t)}{dt} &= i_L(t) + 2A_5 + \frac{U_1 - U_{C_c}(t) - U_{C_i}(P,t) + A_4 R_c / 3}{A_1} + \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_i}(P,t)}{R_d}; \\ C_c \frac{dU_{C_c}(t)}{dt} &= A_5 + I_{bt} - I_{dr}; \\ C_e \frac{dU_{C_e}(t)}{dt} &= A_5 - \frac{U_1 - U_{C_c}(t) - U_{C_i}(P,t) + A_5 R_c}{A_1} + I_{bt} + I_{df}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де R_1 – навантажувальний опір; R_b, R_e, R_c, R_d, R_s – об'ємні опори бази, емітера, колектора, стоку та витоку; R_{ds} – опір стік-витік; C_e, C_c – ємності емітерного та колекторного переходів; C_d, C_s, C_{ds} – ємності затвор-стік, затвор-витік та стік-витік; C_{bal} – баластна ємність; $C_p(P,t)$ – ємність тензочутливого MEMS конденсатора; L – індуктивність; U_1, U_2 – джерела живлення постійної напруги; I_{pt} – струм польового транзистора; I_{dr}, I_{df} – струми внутрішніх переходів база-колектор та база-емітер; I_f, I_r – прямий та зворотній струми біполярного транзистора;

$$A_1 = R_b + R_1; \quad A_2 = R_e + R_1; \quad A_3 = A_2 A_1 + R_c (A_2 + A_1);$$

$$A_4 = A_1 (U_{C_c} + U_{C_e} + U_{C_s}) + A_2 (U_{C_c} - U_2 + U_{C_i}(P,t)); \quad A_5 = \frac{A_4}{A_3}.$$

Uci(P), В

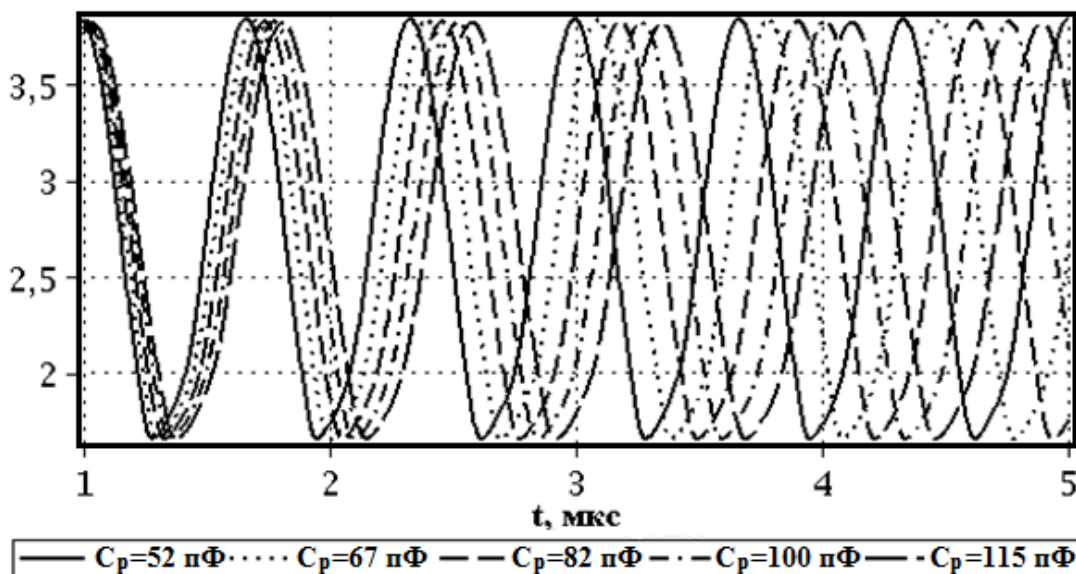


Рис. 4. Зміна напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях ємності тензочутливого MEMS конденсатора

Для перевірки адекватності розробленої моделі написано програму для розрахунку параметрів схеми в середовищі «Marle». Розрахунок показує, що на виході радіовимірювального перетворювача тиску

дійсно будуть існувати періодичні коливання, частота яких буде змінюватись із зміною ємності тензочутливого MEMS конденсатора (рис. 4). Так при $C_p(P,t) = 52$ пФ частота $F=1490$ кГц, при $C_p(P,t) = 67$ пФ частота $F=1441$ кГц, при $C_p(P,t) = 82$ пФ частота $F=1385$ кГц, при $C_p(P,t) = 100$ пФ частота $F=1343$ кГц, а при $C_p(P,t) = 115$ пФ частота $F=1295$ кГц, при цьому $U_1=U_2=2,5$ В.

На рис.5 наведено зміну напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях тиску. З даної характеристики добре видно, що при збільшенні тиску частота вихідного сигналу буде зменшуватись. Знаючи значення частоти вихідного сигналу F при різних значеннях тензочутливої MEMS ємності $C_p(P,t)$ можна отримати функцію перетворення для радіовимірювального перетворювача тиску в загальному вигляді (оскільки замість значень тиску в ній використовуються значення ємності тензочутливої MEMS ємності), при $U_2=2,5$ В. Так, на рис. 6 наведено функцію перетворення радіовимірювального перетворювача тиску з використанням у якості тензочутливого елемента MEMS конденсатора, при різних значеннях напруги керування U_1 .

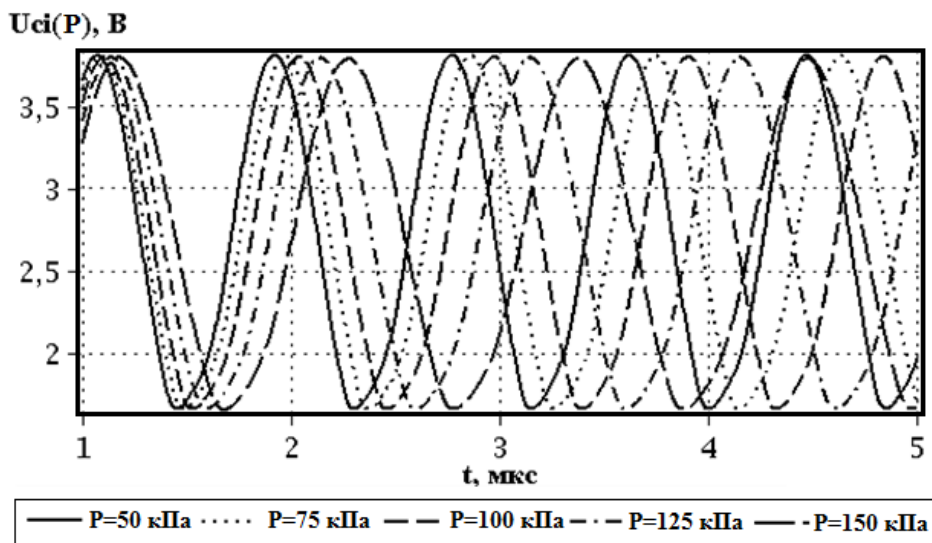


Рис. 5. Зміна напруги вихідного сигналу від часу при різних значеннях тиску

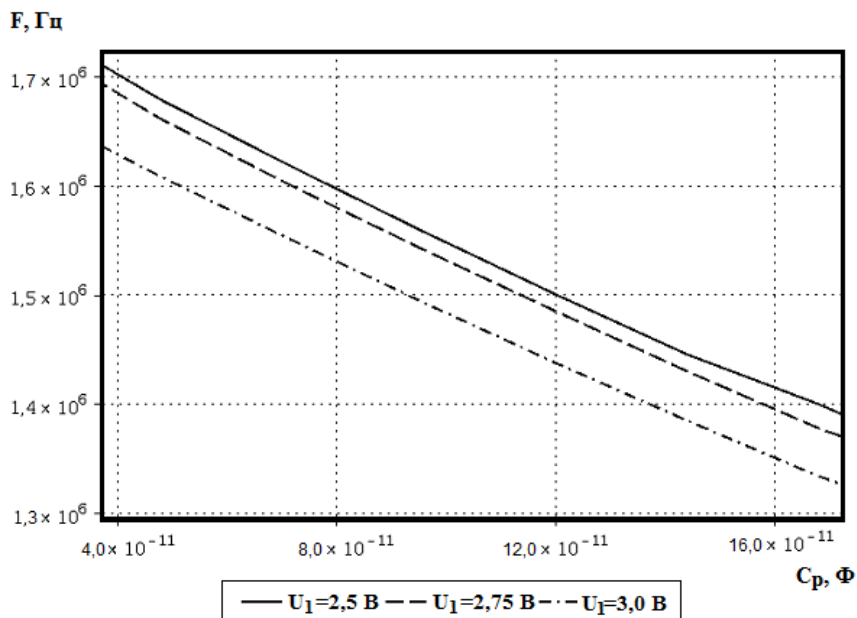


Рис. 6. Теоретична функція перетворення при різних значеннях тензочутливої MEMS ємності

Для проведення експериментальних досліджень у схемі, що зображена на рис. 1 було використано транзистори УКТ3101 та КП313 та тензочутливий MEMS конденсатор (рис.7).



Рис. 7. Фотографія MEMS конденсатора

Для доведення існування ділянки від'ємного опору і вибору на ній робочої точки на рис. 8 подано експериментальні ВАХ досліджуваного автогенераторного вимірювального пристрою. З рис. 8 видно, що при напрузі керування $U_1=2,5$ В ділянка від'ємного опору по U_2 складає від 2,3 до 3,1 В.

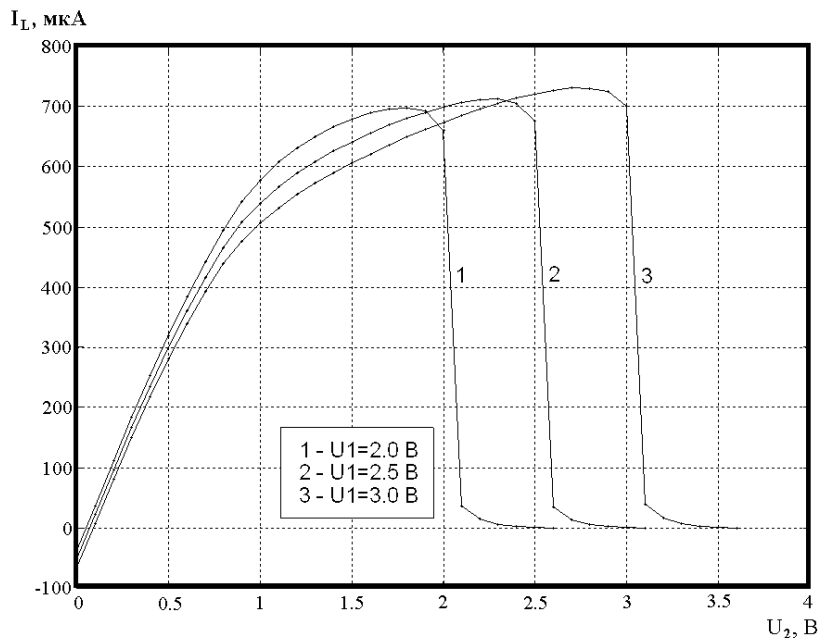


Рис. 8. Експериментальні ВАХ радіовимірювального перетворювача тиску

Залежність частоти генерації від тиску визначається по контуру зворотного струму згідно еквівалентної схеми (рис. 2) на основі теорії стійкості Ляпунова. Спочатку визначається реактивна складова повного опору на електродах колектор-стік транзисторної структури, а потім з реактивної складової визначається еквівалентна ємність, яка залежить від зміни тиску. Зміна еквівалентної ємності визначає залежність частоти генерації від тиску. Функція перетворення радіовимірювального перетворювача тиску на основі структури біполярного і польового транзисторів з тензочутливим MEMS конденсатором описується виразом (2)

$$F = \frac{\sqrt{2} \sqrt{LC_i(P,t) \left(R_{ds}^2 C_{ds} C_i(P,t) + R_{ds}^2 C_{ds}^2 - LC_i(P,t) + \sqrt{A} \right)}}{4\pi LC_i(P,T) R_{ds} C_{ds}}, \quad (2)$$

де $A = R_{ds}^4 C_{ds}^2 C_i^2(P,t) + 2R_{ds}^4 C_{ds}^3 C_i(P,t) - 2LR_{ds}^2 C_{ds} C_i^2(P,t) + R_{ds}^4 C_{ds}^4 + 2LR_{ds}^2 C_{ds}^2 C_i(P,t) + L^2 C_i^2(P,t)$.

Числові розрахунки на персональному комп'ютері дозволяють отримати функцію перетворення частотного перетворювача тиску у вигляді графіка (рис.9). На основі виразу (2) визначена чутливість перетворення радіовимірювального перетворювача тиску на основі структури біполярного і польового транзисторів

$$S_p^F = \frac{\sqrt{2} \left(L(B_2 + B_1) \frac{\partial C_i(P,t)}{\partial P} + LC_i(P,t) \left(B_3 \frac{\partial C_i(P,t)}{\partial P} + \frac{B_4 \frac{\partial C_i(P,t)}{\partial P}}{B_2} \right) \right)}{8 \cdot \left(\pi LR_{ds} C_{ds} C_i(P,t) \sqrt{LC_i(P,t)(B_2 + B_1)} - \frac{\sqrt{2} \sqrt{L(B_2 + B_1) C_i(P,t)} \frac{\partial C_i(P,t)}{\partial P}}{4\pi LR_{ds} C_{ds} C_i(P,t)} \right)}, \quad (3)$$

де $B_1 = R_{ds}^2 C_{ds} C_i(P,t) + R_{ds}^2 C_{ds}^2 - LC_i(P,t)$;
 $B_2 = \sqrt{R_{ds}^4 C_{ds}^2 C_i^2(P,t) + 2R_{ds}^4 C_{ds}^3 C_i(P,t) - 2LR_{ds}^2 C_{ds} C_i^2(P,t) + R_{ds}^4 C_{ds}^4 + 2LR_{ds}^2 C_{ds}^2 C_i(P,t) + L^2 C_i^2(P,t)}$;
 $B_3 = R_{ds}^2 C_{ds} - L$; $B_4 = R_{ds}^4 C_{ds}^2 (C_i(P,t) + C_{ds}) + LR_{ds}^2 C_{ds} (C_{ds} - 2C_i(P,t)) + L^2 C_i(P,t)$.

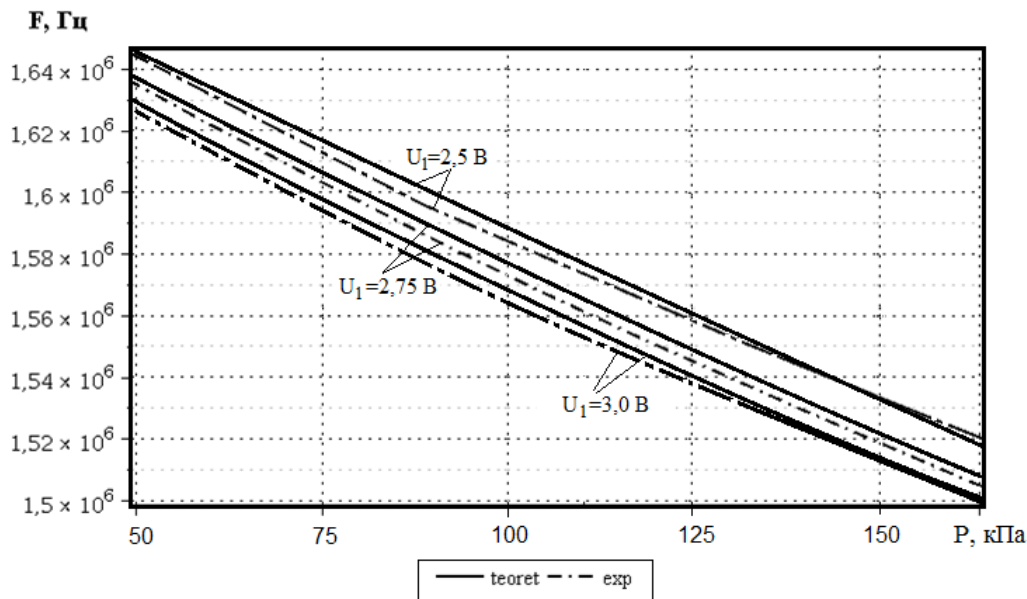


Рис. 9. Теоретичні та експериментальні функції перетворення радіовимірювального перетворювача тиску

Як видно з рис. 9, функція перетворення радіовимірювального перетворювача тиску є майже лінійною. Графік залежності чутливості від зміни тиску представлений на рис. 10. Чутливість радіовимірювального перетворювача тиску з тензочутливим MEMS конденсатором в діапазоні зміни тиску від 50 кПа до 150 кПа складає від 9850 до 16640 кГц/кПа.

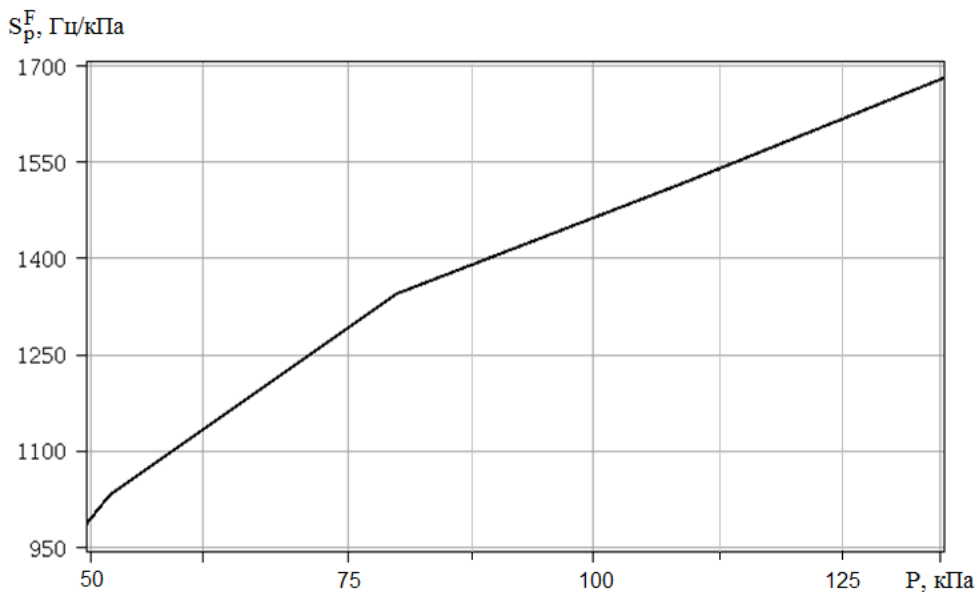


Рис. 10. Залежність чутливості радіовимірювального перетворювача тиску від зміни тиску

Адекватність розробленої моделі в порівнянні з експериментом визначається у вигляді відносної похибки і не перевищує $\pm 1,5\%$.

Висновки

Запропоновано і досліджено радіовимірювальний перетворювач тиску на основі біполярно-польової транзисторної структури з від'ємним опором і тензочутливим MEMS конденсатором. Розроблена динамічна математична модель радіовимірювального перетворювача тиску, яка дозволяє визначити значення напруги або струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу при дії тиску. Адекватність розробленої моделі в порівнянні з експериментом визначається у вигляді відносної похибки і не перевищує $\pm 1,5\%$. Отримано аналітичні вирази функції перетворення і рівняння чутливості. Чутливість розробленого пристрою складає від 0,98 кГц/кПа до 1,67 кГц/кПа.

Література

1. Новицкий П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками / П.В. Новицкий, В.Г. Кноринг, В.С. Гутников. – Ленинград : Энергия, 1970. – 424 с.
2. Викулина Л.Ф. Глауберман М.А. Физика сенсоров температуры и магнитного поля / Л.Ф. Викулина, М.А. Глауберман. – Одесса : Маяк, 2000. – 156 с.
3. Осадчук В.С. Сенсоры тиску і магнітного поля / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. – Вінниця : «Універсум-Вінниця», 2005. – 207 с.
4. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / О.В. Осадчук. – Вінниця : «Універсум-Вінниця», 2000. – 303 с.
5. Осадчук О.В. Деформаційні ефекти у напівпровідникових структурах / О.В. Осадчук, Я.О. Осадчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2 (211). – С. 146–150.
6. Осадчук В.С. Мікроелектронний перетворювач тиску з частотним виходом на основі тунельно-резонансного діода / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Я.О. Осадчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 97–101.
7. Осадчук О.В. Микроэлектронный радиоизмерительный сенсор давления с частотным выходом / О.В. Осадчук, В.С. Осадчук, Я.О. Осадчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 1. – С. 48–53.

Рецензія/Peer review : 5.3.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф., Петрук В.Г.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ШИРИНИ СПЕКТРУ ВУЗЬКОСМУГОВОГО ІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛУ В УМОВАХ НЕЛІНІЙНОЇ ЧАСТОТНОЇ МОДУЛЯЦІЇ

В статті досліджується питання трансформування функції спектральної щільності імпульсного радіолокаційного сигналу в умовах частотної модуляції носійної гармонійним коливанням з малими значеннями коефіцієнта глибини модуляції. Отримано ряд аналітичних виразів залежності функції спектральної щільності від коефіцієнта глибини модуляції, при гармонійній (полігармонійній) модулюючій функції, дослідження яких показало, що навіть за незначної частотної модуляції вибір смуги пропускання приймача має здійснюватися з інших міркувань. Отримані результати дають змогу встановити критичну межу доцільності застосування узгодженої обробки таких сигналів в приймачі.

Ключові слова: радіолокаційний сигнал, імпульс, модуляція, гармонійний, полігармонійний, виявлення, спектр, смуга пропускання.

O.M. SHINCARUK, I.I. CHESANOVSKYY,

National Academy of State Borderguard service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi

L.V. KARPOVA

Khmelnytsky National University

RESEARCH ON EFFECTIVE SPECTRUM WIDTH OF THE NARROW-BAND PULSE SIGNAL IN A NON-LINEAR FREQUENCY MODULATION

The article investigates the transformation function of the spectral density of the pulsed radar signal in terms of frequency carrier modulation harmonic oscillations with small values of the coefficient of modulation depth. Obtained some analytical expressions of the dependence of the spectral density function of ratio modulation depth at harmonic (polarmarine) of the modulating function the research of which it is shown that even with a slight frequency modulation, the choice of the bandwidth of the receiver must be carried out for other reasons. The obtained results enable to determine the critical line the feasibility of using coherent processing of such signals in the receiver.

Keywords: radar signal, pulse, modulation, harmonic, polarmarine, identification, spectrum, bandwidth.

Наявність нелінійної частотної модуляції в імпульсних радіолокаційних сигналах [1, 2] відкриває нові перспективи побудови високоефективних алгоритмів прийому та розрізнення, при цьому, вимагає принципово іншого підходу при виборі ширини смуги пропускання приймача. З однієї сторони, розширення спектру, за рахунок частотної модуляції, є недостатнім для того, щоб розглядати зондуючий сигнал як широкосмуговий, з відповідними підходами, щодо «організації» преселектора, з іншої сторони її неврахування може призвести до серйозних наслідків, аж до втрати стійкості прийому через «особливий» збіг параметрів паразитної модуляції і параметрів смуги пропускання. Цим випадком, є частотна модуляція сигналу гармонійним коливанням, що при незначній глибині модуляції (1.3) може кординально трансформувати спектральну щільність в смугі основної пелюстки, відносно якої налаштовується приймач.

Відомо, що при розрахунку оптимальної смуги пропускання (СП) приймального тракту в імпульсних радіолокаційних системах (РЛС), зазвичай припускається, що носійне коливання має постійну частоту протягом тривалості всього імпульсу. Очевидно, що в такому випадку, спектр сигналу повністю визначається амплітудною обвідною і ширина СП приймального тракту розраховується виключно із тривалості імпульсу, з певними варіаціями як в сторону звуження (урахування різних згладжуючих ефектів), так і в сторону розширення (урахування нестабільності генератора, розмиття спектру фронтів імпульсу, тощо) з метою забезпечення найвищої ефективності процесу виявлення сигналів. Якщо ж частота носійного коливання за тривалість імпульсу змінюється не лінійно, то спектр радіосигналу визначається характером цієї зміни і як показують дослідження [1,2], саме характер цієї зміни є визначальним при трактуванні сигналу з позиції широкосмуговості для побудови узгодженого алгоритму.

Практичне значення запропонованого дослідження обумовлена необхідністю перегляду фундаментальних положень теорії узгодженої фільтрації з огляду на останні досягнення в галузі цифрової обробки сигналів.

Відомо, що будь-який імпульсний сигнал можна представити у вигляді інтегралу Фур'є:

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1)$$

де $S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-j\omega t} dt$ – спектральна щільність сигналу.

Розглянемо випадок, коли частота носійного коливання в середині імпульсу змінюється за гармонійним законом (присутні пульсації на вершині імпульсу)

$$\omega(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = \frac{d(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin(\Omega t + \phi) + \phi_0)}{dt} = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \phi), \quad (2)$$

де $\Delta\omega$ – девіація частоти; Ω – частота модулюючої по частоті складової; ϕ, ϕ_0 – початкові фази модулюючого та носійного коливання відповідно.

Спектральна щільність сигналу з такою повною фазою може бути визначена із формули [2, 3]

$$S(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m) \int_0^{\tau} U(t) \sin((\omega_0 + n\Omega)t + n\phi) e^{-j\omega t} dt, \quad (3)$$

де $J_n(m)$ – функція Бесселя n -го порядку аргументу m ; m – індекс частотної модуляції; τ – тривалість імпульсу. Враховуючи, що $\omega_0 \gg 2\pi/\tau$, а за рахунок вузькосмуговості сигналу ω одного порядку ω_0 отримуємо вираз

$$S(\omega) = \frac{1}{2j} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m) e^{jn\phi} \int_0^{\tau} U(t) e^{-j(\omega - (\omega_0 + n\Omega))t} dt, \quad (4)$$

в якому спектральна щільність сигналу визначається як сума спектральних щільностей імпульсів з обвідними $U(t)$. Відповідно отриманого виразу, амплітуди складових кожного із часткових спектрів множаться на функції Бесселя відповідного прядку, а фази складових кожного спектру отримують додатковий зсув $n\phi$. Для випадку, коли амплітудна модуляція відсутня

$$U(t) = \begin{cases} a = \text{const}, & 0 \leq t \leq \tau; \\ 0, & t < 0, t > \tau, \end{cases}$$

інтегрування у виразі (4) дає результат

$$S(\omega) = \frac{a\tau}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m) e^{jn\phi} \frac{\sin\left((\omega - (\omega_0 + n\Omega))\frac{\tau}{2}\right)}{(\omega - (\omega_0 + n\Omega))\frac{\tau}{2}}. \quad (5)$$

Отриманий вираз дає змогу в повній мірі оцінити вплив частотних «коливань» носійної на спектральні характеристики радіолокаційного сигналу. На рис. 1 приведено результати моделювання даного виразу для наступних вихідних умов: $f_0 = 9 \cdot 10^9$ Гц, $\Delta f = 1 \cdot 10^6$ Гц, $\tau = 1 \cdot 10^{-6}$ с, $a = 1$ В.

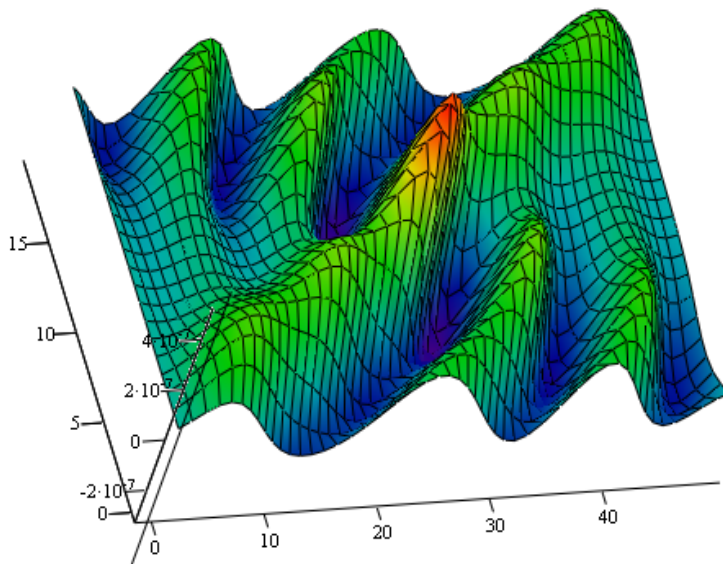


Рис. 1. Розподіл спектральної щільності радіолокаційного сигналу при наявності частотної пульсації носійної з різною глибиною

Як видно з рис. 1, при незначній гармонійній зміні частоти носійного коливання, що відповідає значенням коефіцієнта модуляції на рівні від 1 до 3, спектральна щільність радіолокаційного сигналу набуває достатньо серйозних трансформацій. А це може призвести до того, що в смугу пропускання приймача потрапить лише частина енергії сигналу, яка при певних (особливих) значеннях коефіцієнта глибини частотної модуляції може бути дуже малою. На рис. 2 та рис. 3 приведено спектральні щільності сигналу в різних перерізах значень коефіцієнта глибини модуляції.

Як видно з рис. 2, вже при невеликому значенні коефіцієнта глибини модуляції ($m=1.6$) в центрі основної пелюстки спектральної щільності з'являється впадина, а сама пелюстка зміщується відносно свого центру. При подальшому збільшенні

коефіцієнта глибини модуляції (рис. 3) спостерігається ще більше (майже критичне) трансформування основної пелюстки, що з огляду обмеженість смуги пропускання приймача може призвести до втрати стійкості прийому.

Достатньо типовим є випадок частотної модуляції вузько смуговим полігармонійним сигналом, що притаманно багатьом імпульсним генераторам НВЧ. Для визначення та дослідження спектральної щільності радіосигналу, що містить таку модуляцію, розглянемо випадок двочастотної модуляції носійної, при чому кратно частотної модуляції, щоб в подальшому розширити отриманий результат на довільні полігармонійні, вузькосмугові модулюючі сигнали.

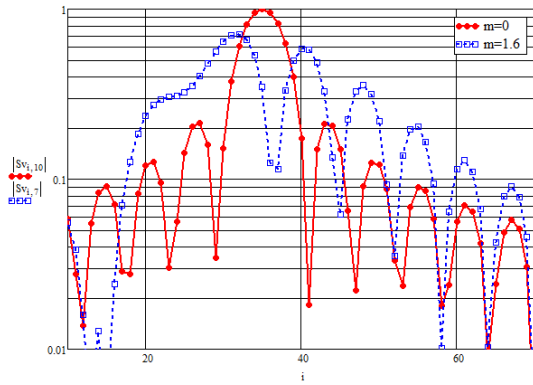


Рис. 2. Розподіл спектральної щільності радіолокаційного сигналу в перерізі різної глибини частотної модуляції

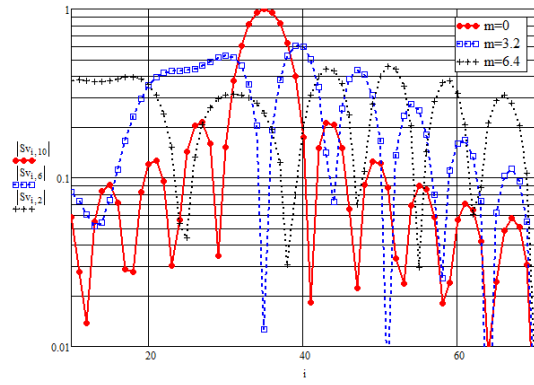


Рис. 3. Розподіл спектральної щільності радіолокаційного сигналу в перерізі різної глибини частотної модуляції

У випадку двочастотної модуляції, миттєва частота може бути записана у вигляді

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_1 \cos(\Omega_1 t + \phi_1) + \Delta\omega_2 \cos(\Omega_2 t + \phi_2), \quad (6)$$

де $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2$ – девіація частоти першої і другої гармоніки відповідно; Ω_1, Ω_2 – частота першої і другої гармоніки відповідно, при цьому $\Omega_2 = k \Omega_1$, де k – будь-яке ціле число.

Спектральна щільність імпульсного радіосигналу з такою частотною модуляцією може бути визначена з виразу

$$S(\omega) = \int_0^\tau U(t) \sin((\omega_0 t + m_1 \sin(\Omega_1 t + \phi_1) + m_2 \sin(\Omega_2 t + \phi_2))) e^{-j\omega t} dt. \quad (7)$$

В результаті вирішення інтегралу в (7) для випадку прямокутного імпульсу з амплітудою a , отримується

$$S(\omega) = \frac{a\tau}{2j} e^{j(\omega - \omega_0)\tau/2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j(m\phi_1 + n\phi_2 - (m+kn)\pi)} \times \frac{\sin\left[\left(\omega - (\omega_0 + (m+kn)\Omega)\right) - \frac{\tau}{2}\right]}{\left[\left(\omega - (\omega_0 + (m+kn)\Omega)\right) - \frac{\tau}{2}\right]} \times J_m(m_1) J_n(m_2). \quad (8)$$

Як і в попередньому випадку, отриманий вираз дає змогу в повній мірі оцінити вплив частотної модуляції носійної сумою двократно частотних гармонік на спектральні характеристики радіолокаційного сигналу.

На рис.1 приведено результати моделювання даного виразу для наступних вихідних умов:
 $f_0 = 9 \cdot 10^9$ Гц,
 $\Omega_1 = 1 \cdot 10^6$ Гц, $\tau = 1 \cdot 10^{-6}$ с,
 $a = 1$ В, $k = 2$.

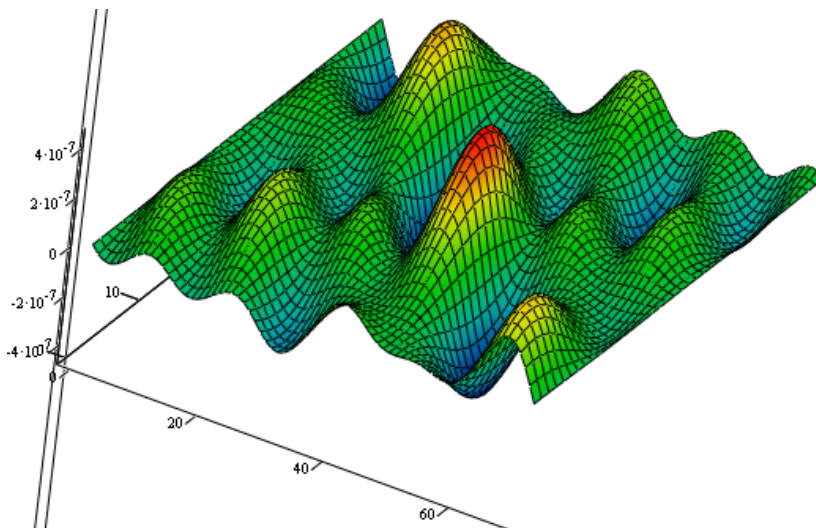


Рис. 4. Розподіл спектральної щільності радіолокаційного сигналу при наявності частотної пульсації носійної з різною глибиною

Як видно з рисунку, при незначній гармонійній зміні частоти носійного коливання, що відповідає значенням коефіцієнта модуляції вже на рівні від 0 до 2.5, спектральна щільність радіолокаційного сигналу набуває значно більших трансформацій ніж в попередньому випадку при тих самих значеннях коефіцієнта глибини модуляції. А це означає, що вибір смуги пропускання приймача та

передавальної характеристики тракту попередньої селекції мають здійснюватися з урахуванням можливого значення коефіцієнта глибини модуляції. На рис. 5 та рис. 6 наведено спектральні щільності сигналу в різних перерізах значень коефіцієнта глибини модуляції.

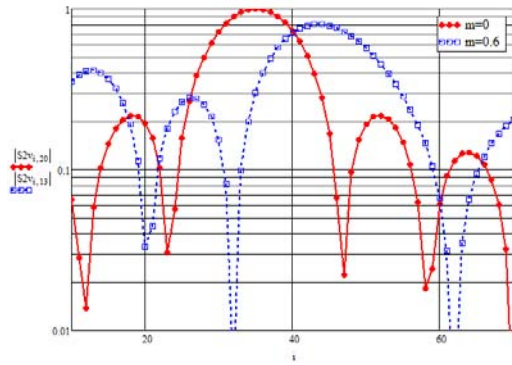


Рис. 5. Розподіл спектральної щільності радіолокаційного сигналу в перерізі різної глибини частотної модуляції

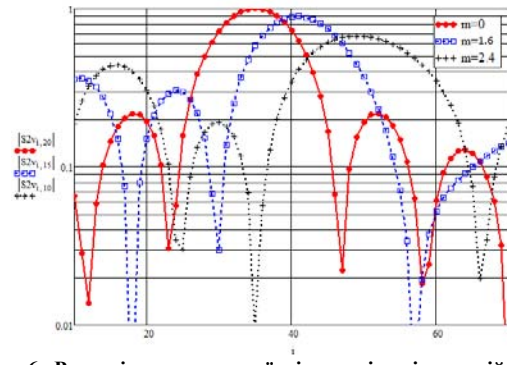


Рис. 6. Розподіл спектральної щільності радіолокаційного сигналу в перерізі різної глибини частотної модуляції

Як видно з рис. 5, вже при значенні коефіцієнта глибини модуляції $m=0.6$ в основній пелюстці спектральної щільності залишається близько 50 % енергії, що є неприйнятним для прийому таких сигналів. При подальшому збільшенні коефіцієнта глибини модуляції (рис. 6) до значення $m=2.4$ смуга пропускання приймача «захоплює» мінімум спектральної щільності сигналу.

Таким чином, при конструюванні прийомо-передавачів імпульсних радіолокаційних систем, критично важливо враховувати дію різних негативних явищ, що проявляються при формуванні радіолокаційних сигналів, особливо, якщо вони проявляються у вигляді паразитної кутової модуляції. Менш критичною, є ситуація, коли паразитна кутова модуляція відбувається за лінійним законом (електронне зміщення частоти при спаді плоскої вершини імпульсу), оскільки вона призводить лише до розширення спектральної щільності сигналу і її легко компенсувати. Проте, зовсім іншою є ситуація, що розглянута в даному дослідженні – коли частотна модуляція здійснюється за гармонійним (синусоїдальним) законом. В цьому випадку, навіть при незначній глибині модуляції, відбувається значна трансформація спектральної щільності, особливо якщо гармонійна складова не одна. Виходячи з цього, стає очевидним, що компенсувати таку зміну функції спектральної щільності простими засобами не можливо. В таких випадках необхідно застосовувати більш складні підходи узгодженої обробки.

Література

1. Вамберский М.В. Передающие устройства СВЧ : учебное пособие для радиотехнических спец. вузов / Вамберский М.В., Казанцев В.И., Шелухин С.А. ; под ред. М.В. Вамберского. – М. : Высш. шк., 1984. – 448 с.
2. Вакман Д.Е. Асимптотические методы в линейной радиотехнике / Вакман Д.Е. – М. : Сов. Радио, 1962. – 247 с.
3. Бычков С.И. Спектры одиночных радиоимпульсов при изменении несущей частоты / Бычков С.И. // Радиотехника. – 1950. – № 1. – С. 42–54.

Рецензія/Peer review : 20.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., професор В.В. Мартинюк

МЕТОД РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРУ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ППРЧ

Для підвищення прихованості передавання запропоновано метод формування сигнальних конструкцій на основі псевдовипадкової перебудови робочої частоти з попереднім розширенням спектру таймерних сигнальних конструкцій псевдовипадковими послідовностями.

Ключові слова: таймерна сигнальна конструкція, прихованість, спектр, частота.

Y.S. GOROHOV

Odessa O. S. Popov National Academy of Telecommunication

SPREAD METHOD OF TIMER SIGNALS BASED ON PSEUDO RANDOM RECONSTRUCTION OF OPERATING FREQUENCY

To increase the secrecy of transmission the formation method of signal constructions was proposed based on pseudo random reconstruction of the operating frequency with a preliminary extension of the spectrum of the timer signal constructions by pseudo random sequences.

Keywords: timer signal construction, secrecy, spectrum, frequency.

Вступ

В умовах радіоелектронного конфлікту застосування заводо захищених систем зв'язку з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (ППРЧ) забезпечує утруднення прослуховування сигналу, що передається, або придушення його вузькосмуговою заводою [1]. Подальше підвищення ефективності таких систем можливо за рахунок застосування більш складніших за формою сигнальних конструкцій. Для рішення цієї задачі запропоновано використовувати в якості інформаційних сигналів непозиційні таймерні сигнальні конструкції (ТСК). Первісно теорія таймерного кодування [2] була створена для збільшення об'єму передаваних даних в бінарному каналі з обмеженої смуги частот, а також, в неї вирішувалися питання забезпечення заданої достовірності комбінацій без залишкових елементів. Структурна та інформаційна прихованість ТСК була досліджена у роботах [3, 4]. Проблема розширення спектра непозиційних кодів на основі ППРЧ розглянуто лише в кількох роботах [5, 6], тому потрібно подальше дослідження в цьому напрямку. Для підвищення прихованості передавання запропоновано метод формування ширококутних шумоподібних сигналів на основі ППРЧ з попереднім розширенням спектру ТСК псевдовипадковими послідовностями (ПВП).

Мета роботи

Метою роботи є розробка методу розширення спектру непозиційних таймерних сигналів на основі ППРЧ та ПВП для підвищення прихованості передавання заводо захищеної системи зв'язку.

Метод розширення спектру таймерних сигналів

Розглянемо особливості формування таймерного шумоподібного ширококутвого сигналу з урахуванням алгоритму ППРЧ. Відомо [1], що більш стійким до заводо є ширококутний сигнал, який сформований шляхом швидкого розширення спектра. Це пояснюється тим, що вплив вузькосмугової заводо на один із частотних підканалів f_i не приведе до повного спотворення біта, а дозволить відновити його полярність за мажоритарним принципом. Тривалість інтервалу перебудови t_{nep} пов'язана з тривалістю елементарної послідовності позиційного коду t_0 співвідношенням:

$$t_{nep} = \frac{t_0}{k}, \quad (1)$$

де $k = 1, 2, 3, \dots$ – кількість частотних підканалів на інтервалі t_0 .

Цю властивість не має ширококутний сигнал з повільним розширенням спектра, проте його реалізація набагато простіша. Швидкість перебудови несучої частоти дорівнює або менше швидкості передавання бітової швидкості повідомлення. Тому, за період частотного підканалу може бути переданий один і більше біт. Тривалість t_{nep} пов'язана з t_0 співвідношенням:

$$t_{nep} = k \cdot t_0, \quad (2)$$

де $k = 1, 2, 3, \dots$ – кількість біт, які приходяться на один частотний підканал.

При розширенні спектру необхідно також враховувати наступні параметри побудови ТСК: ширину спектру інформаційного сигналу ΔF_c , довжину базового елементу Δ і часовий інтервал $T_c = nt_0$; n – кількість елементів t_0 . В ТСК відстань між значущими моментами модуляції τ_c не менше інтервалу Найквіста ($t_0 = 1/\Delta F_c$), але и не кратне йому. Значення $\tau_c = t_0 + \Delta \cdot l$ ($l \in 0, 1, 2, 3, \dots$) кратне часовому відрізьку $\Delta = t_0/s$ ($s \in 2, 3, \dots k$). Обмеження на відстань між ЗММ забезпечує усунення міжсимвольних

спотворень в ТСК. Значення s показує, наскільки менше Δ по відношенню до t_0 . Число переходів i в конструкціях може бути різним і змінюватися в межах $i=1,2, \dots, n-1$. Від значень Δ , s , n та i залежить завадостійкість [2] та прихованості [3, 4] сигнальних конструкцій.

В роботі [5, 6] доведена доцільність розширення спектру ТСК за рахунок використання швидкої ППРЧ. Недоліком запропонованого методу є необхідність фіксування зміни полярності фронтів ТСК за допомогою додаткових частот, тобто приймач повинен перебувати в постійному очікуванні для їх приймання. Альтернативним варіантом побудови системи з ППРЧ є застосування одноетапної модуляції.

Для підвищення прихованості передавання сигналів ППРЧ та усунення зазначених недоліків розроблено наступний алгоритм розширення спектру ТСК за допомогою псевдовипадкової послідовності (ПВП) та швидкої ППРЧ (рис. 1):

- 1) визначаються параметри ТСК s , n та i ;
- 2) вибирається додаткова ПВП з тривалістю елементів

$$\tau = \frac{\Delta}{j}, \tag{3}$$

де $j=1, 2, 3, \dots$ – кількість елементів τ на тривалості часу Δ ; τ – мінімальний бінарний елемент ПВП

3) здійснюється розширення спектру шляхом перемноження бінарних значень амплітуд ТСК та ПВП;

$$y_{ТСК}(\tau) = x_{ТСК}(t) \times c(\tau); \tag{4}$$

4) для елементів τ послідовності $y_{ТСК}(\tau)$ застосовується метод ППРЧ, але при цьому можливі варіанти, коли τ співпадає з періодом $t_{пер}$, а також $t_{пер} = \tau \cdot j$, тобто один частотний підканал об'єднує кілька послідовностей τ .

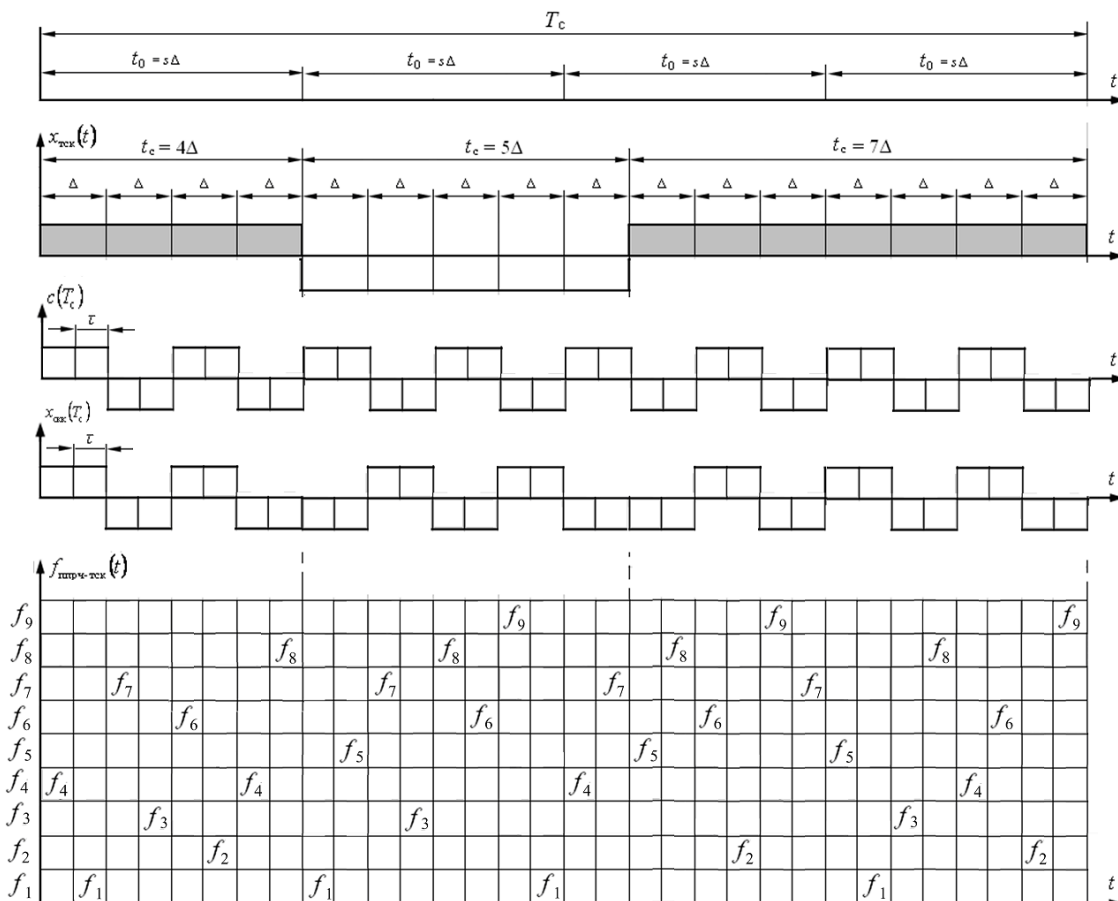


Рис. 1. Розширення спектру ТСК на основі ПВП та ППРЧ

Для демодуляції сигналу $x_{ППРЧ-ТСК}(t)$ приймач повинен мати не тільки закон зміни робочої частоти підканалів, але й копію послідовності $c(\tau)$ для виділення фронтів ТСК за допомогою кореляційного приймача. Таким чином, розширення спектру ТСК на основі ПВП та ППРЧ підвищує прихованість передавання.

Висновки

Запропонований варіант організації заводозахисної системи зв'язку дозволить підвищити основні показники прихованості в каналі за рахунок інтегрування двох методів розширення спектрів ТСК: ППРЧ та ПВП. Застосування таймерних сигналів дозволить варіювати різними ансамблями сигнальних конструкцій та збільшити об'єм передаваної інформації у порівнянні з позиційними кодами у 2 рази та вище.

Література

1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов, В.М. Зинчук А.Е. Лимарев и др. ; под ред. В.М. Борисова. – М. : Радио и связь, 2000. – 384 с.
2. Захарченко В.М. Синтез багатопозиційних часових кодів / В.М. Захарченко. – Київ : Техніка, 2012. – 284 с.
3. Захарченко Н. В. Структурная скрытность таймерных сигналов в системах с кодовым разделением каналов / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/9(50). – С. 7–9.
4. Захарченко Н. В. Оценка информационной скрытности таймерных сигнальных конструкций в системах передачи конфиденциальной информации / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2011. – № 1. – С. 3–8.
5. Корчинский В.В. Повышение скрытности передачи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов / В.В. Корчинский // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков : ХПИ, 2012.– № 66 (972). – С. 63–67.
6. Корчинский В.В. Конфиденциальная система связи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов / В.В. Корчинский // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков : ХПИ, 2013.– № 16(989).–С.82–85.

Рецензія/Peer review : 3.2.2016 р. Надрукована/Printed :18.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Троцишин І.В.

УДК: 519.688 : 621.3.088.3

О.В. ОСАДЧУК , А.Ю. САВИЦЬКИЙ, О.С. ЗВЯГІН
Вінницький національний технічний університет

ОБРОБКА СИГНАЛУ СЕНСОРА ЗА ДОПОМОГОЮ ДОТИЧНОЇ

Розглянуто можливість застосування і математичний апарат для обробки вимірювальних сигналів перетворювачів фізичних величин. Виведено методу розрахунку енергії імпульсу неперервного сигналу довільної форми на основі використання дотичних до графіка апроксимуючого полінома між відліками вимірювання. Проведено експериментальне порівняння отриманих результатів з відомими методами: прямокутників, трапеції, Сімпсона. Наведено логічну блок-схему реалізації запропонованого метода.

Ключові слова: визначений інтеграл, дотична, автогенераторний перетворювач, блок-схема, точність вимірювання.

O.V. OSADCHUK, A.YU. SAVYTSKYI, O.S. ZVIAHIN
Vinnytsia National Technical University

SIGNAL PROCESSING FROM SENSOR BY USING A TANGENT

Consider the application and mathematical tools for signal processing measuring transducers of physical greatness. Displaying methodology for calculating the energy pulse continuous arbitrary waveform on the basis of relevant graphics to approximating polynomial samples between measurements. The experimental comparison of the results with known methods, rectangles, trapezoids, Simpson. An logical block diagram of the proposed method is restored.

Keywords: definite integral, tangent, self-oscillator transducer, block diagram, measurement accuracy.

Вступ

Одним із пріоритетних напрямків розвитку науково-технічної діяльності людини є вдосконалення технологічних ліній та обладнання з метою оптимізації процесу виробництва, зниження відсотку браку, що призводить до підвищення економічних показників і підвищення конкурентоспроможності підприємств. Рішення даної проблеми призвело до поєднання виробничого обладнання та систем управління технологічними процесами в складні комп'ютеризовані інформаційні системи, розвиток яких тісно пов'язаний з новітніми досягненнями в області апаратного і програмного забезпечення [1].

Теоретичні засади використання дотичних для обробки сигналів первинних сенсорів

Метою даної статті є розгляд нових методик обробки сигналів перетворювачів фізичних параметрів, важливих для проведення технологічних процесів.

Оскільки більшість первинних перетворювачів фізичних величин є аналоговими [2], то подальший розвиток контрольно-виміральної техніки полягає в застосуванні тих методик обробки сигналу первинних перетворювачів, які приведуть до мінімізації похибок вимірювання, забезпечать адекватний відгук систем, з оглядом на специфіку і динаміку контрольованих об'єктів [3, 4].

Розробка програмного забезпечення комп'ютеризованих систем включає в себе почергове звернення до сенсорів і подальшу апроксимацію отриманих результатів для обчислення визначеного інтеграла, за величиною якого визначають інтенсивність впливу вимірюваного параметра. При цьому точність вимірювання безпосередньо залежить від частоти звернення і порядку апроксимуючого полінома. Однак серед методів нелінійної апроксимації найбільшого практичного застосування отримав метод Сімпсона, заснований на заміні функції між вузлами апроксимації частинами парабол [3]. При цьому можуть виникати похибки, пов'язані з визначенням парності порядкового числа вимірювань, точності відтворення шуканої функції рядом параболічних, а також їх «склеювання» у вузлах. Тому в даній роботі запропоновано метод обробки сигналів, який володіє перевагами лінійної апроксимації, при цьому забезпечує точність, необхідну для вирішення практичних завдань [2].

Нехай маємо масив результатів вимірювання первинних сенсорів, що описується деякою неперервною функцією перетворення $F(x)$, що на відрізку $[x_0; x_1]$ не має точок екстремуму 2-го порядку, де x_0, x_1, \dots, x_n – рівновіддалені відліки вимірювання; h – крок сітки (частота звертання до перетворювача).

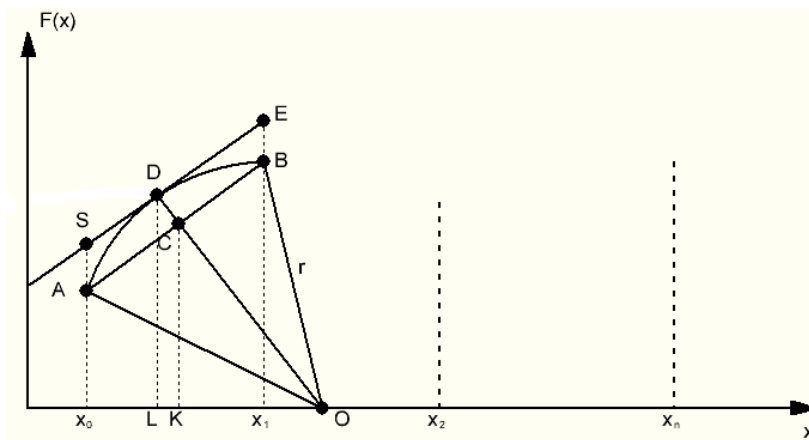


Рис. 1. Графічне зображення методу дотичних

Позначимо через $A(x_0; F(x_0)), B(x_1; F(x_1)), C(\frac{x_1+x_0}{2}; \frac{F(x_1)+F(x_0)}{2})$ відповідно точки перетину графіка апроксимованої функції $F(x)$ з графіками функцій $x_0, x_1, \frac{x_1+x_0}{2}$. Точка $O\left(\frac{(x_1^2-x_0^2)+(F(x_1^2)-F(x_0^2))}{2h}; 0\right)$ – центр кола, що апроксимує функцію $F(x)$ на відрізку $[x_0; x_1]$.

Проведемо через точки O і C пряму. Точку перетину даної прямої з дугою кола позначимо точкою з координатами $D(x_D; F(x_D))$. Дотична до кола, проведена через точку D буде паралельна прямій AB .

Рівняння дотичної до кола описується виразом:

$$(x_D - x_{T,0})(x - x_{T,0}) + (F(x_D) - y_{T,0})(F(x_D) - y_{T,0}) = r_0^2,$$

де $x_{T,0} = \frac{(x_1^2 - x_0^2) + (F^2(x_1) - F^2(x_0))}{2h}$; $y_{T,0} = 0$ – координати точки O із запропонованої умови вибору точки центра кола.

Визначимо координати точки дотику $D(x_D; F(x_D))$. Опустимо перпендикуляри з точок C і D на вісь абсцис, точки перетину позначимо відповідно K і L . Виходячи з подібності трикутників ΔLDO і ΔKCO впливає співвідношення:

$$\frac{OL}{OK} = \frac{OD}{OC},$$

де $OD = r_0$.

Радіус кола визначається за виразом [2]:

$$r_0 = \sqrt{\left(\frac{(x_1^2 - x_0^2) + (F^2(x_1) - F^2(x_0)) - 2hx_0}{2h}\right)^2 + F^2(x_0)} = \sqrt{(x_{T,0} - x_0)^2 + F^2(x_0)}.$$

$$|OL| = \frac{OK \cdot OD}{OC} = \frac{\left(x_{T.0} - \frac{x_1 + x_0}{2}\right) r_0}{\sqrt{\left(x_{T.0} - \frac{x_1 + x_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{F(x_0) + F(x_1)}{2}\right)^2}}.$$

Для спрощення розрахунків введемо заміну $e_0 = x_{T.0} - \frac{x_1 + x_0}{2}$; $\Delta F_0 = \frac{F(x_0) + F(x_1)}{2}$, тоді останній вираз матиме вигляд:

$$|OL| = \frac{e_0 r_0}{\sqrt{e_0^2 + \Delta F_0^2}}.$$

Ордината точки дотику D є довжиною відрізка LD , яку знайдемо з прямокутного трикутника ΔLDO :

$$LD = |LD| = \sqrt{OD^2 - OL^2} = \sqrt{r_0^2 - \left(\frac{e_0 r_0}{\sqrt{e_0^2 + \Delta F_0^2}}\right)^2}.$$

Рівняння дотичної, проведеної через точку D , буде:

$$-\frac{e_0 r_0}{\sqrt{e_0^2 + \Delta F_0^2}}(x - x_{T.0}) + y \cdot LD = (x_{T.0} - x_0)^2 + F^2(x_0).$$

Спростивши останній вираз, отримаємо:

$$\frac{OL}{LD}x - \frac{x_{T.0}}{LD}OL + \frac{(x_{T.0} - x_0)^2 + F^2(x_0)}{LD} = y.$$

Використавши позначення $|OL| = \frac{e_0 r_0}{\sqrt{e_0^2 + \Delta F_0^2}}$; $|LD| = \sqrt{r_0^2 - \left(\frac{e_0 r_0}{\sqrt{e_0^2 + \Delta F_0^2}}\right)^2}$, рівняння дотичної набуде вигляду:

$$y(x) = \frac{OL}{LD}x - \frac{r_0^2 - F^2(x_0) + x_0^2}{LD}OL + \frac{r_0^2}{LD}.$$

Перетин графіка дотичної $y(x)$ з графіками функцій $x = x_0$ та $x = x_1$ позначимо точками S та E , які будуть мати наступні координати:

$$S \left(x_0; \frac{OL}{LD}x_0 - \frac{x_{T.0}}{LD}OL + \frac{(x_{T.0} - x_0)^2 + F^2(x_0)}{LD} \right);$$

$$E \left(x_1; \frac{OL}{LD}x_1 - \frac{x_{T.0}}{LD}OL + \frac{(x_{T.0} - x_0)^2 + F^2(x_0)}{LD} \right).$$

Площа трапеції X_0SEX_1 є визначенням інтегралом функції $F(x)$ на проміжку $[x_0; x_1]$ і визначається виразом:

$$S_{X_0SEX_1} = h \cdot \frac{\frac{OL}{LD}x_0 - \frac{x_{T.0}}{LD}OL + \frac{(x_{T.0} - x_0)^2 + F^2(x_0)}{LD} + \frac{OL}{LD}x_1 - \frac{x_{T.0}}{LD}OL + \frac{(x_{T.0} - x_0)^2 + F^2(x_0)}{LD}}{2};$$

$$S_{X_0SEX_1} = h \cdot \frac{OL(x_1 + x_0) + 2\left((x_{T.0} - x_0)^2 + F^2(x_0)\right) - 2x_{T.0}OL}{2LD} = \int_{x_0}^{x_1} F(x)dx.$$

В загальному випадку площа трапеції розраховується за виразом:

$$S_{mpan.n} = h \cdot \frac{OL_{n-1}(x_n + x_{n-1}) + 2\left((x_{T.0.n-1} - x_{n-1})^2 + F^2(x_{n-1})\right) - 2x_{T.0.n-1} \cdot OL_{n-1}}{2LD_{n-1}}.$$

Тоді визначений інтеграл функції $F(x)$ на відрізку $[x_0; x_n]$ буде знаходитись за виразом:

$$\int_{x_0}^{x_n} F(x)dx = \sum_{i=1}^n S_{mpan.i} = \frac{OL_{i-1}(x_i + x_{i-1}) + 2\left((x_{T.0.i-1} - x_{i-1})^2 + F^2(x_{i-1})\right) - 2x_{T.0.i-1} \cdot OL_{i-1}}{2LD_{i-1}}.$$

На основі отриманого математичного апарату розроблено логічну блок-схему реалізації запропонованого методу, що наведена на рис.2.

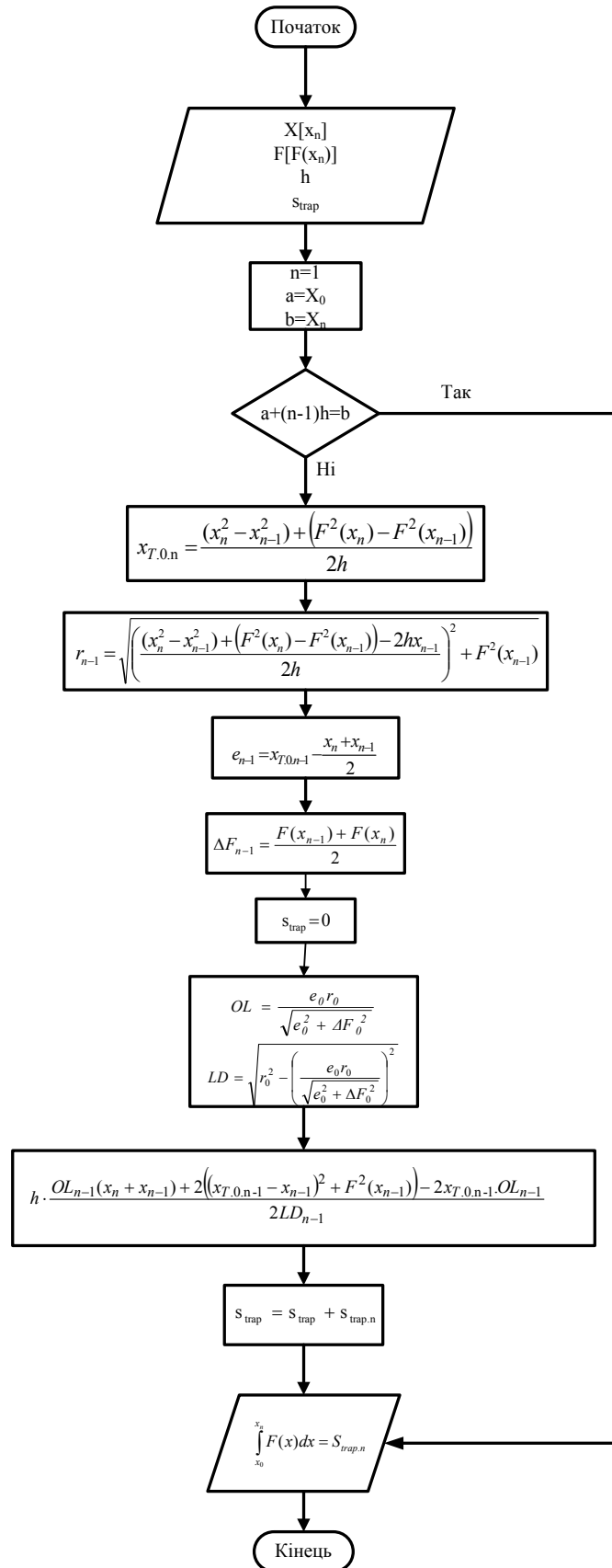


Рис. 2. Логічна блок-схема реалізації метода дотичних

Скористаємось даною методикою для практичних розрахунків визначених інтегралів. Проведемо спочатку порівняння результатів обчислення визначеного інтеграла за виведеним удосконаленим методом трапецій і методом Сімпсона [3]. Для прикладу обрахуємо визначений інтеграл функції $F(x) = \frac{\ln x}{x^2 + 5}$ на відрізку [1;2] з кроком 0,1.

Значення функції $F(x)$ на відрізку [1;2]

x	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
F(x)	0	0,01534	0,0283	0,03922	0,04834	0,05593	0,06217	0,06725	0,07123	0,07455	0,077

Проведемо розрахунок визначеного інтеграла за методом Сімпсона. У загальному випадку рівняння, за методом Сімпсона описується рівнянням:

$$\int_a^b \frac{\ln x}{x^2 + 5} dx = \frac{h}{3} [y(2) + y(1) + 2y(x_{2i}) + 4y(x_{2i-1})].$$

Після підстановки значень з наведеної вище таблиці, отримуємо:

$$\int_1^2 \frac{\ln x}{x^2 + 5} dx = \frac{0,1}{3} (0 + 0,077 + 2 \cdot (0,0233 + 0,04334 + 0,06217 + 0,07133) + 4(0,01534 + 0,03922 + 0,05593 + 0,06725 + 0,07455)) = \\ = \frac{0,1}{3} (0,077 + 0,4203 + 1,00916) = 0,05022.$$

Для порівняння проведемо розрахунок заданого інтеграла $\int_1^2 \frac{\ln x}{x^2 + 5} dx$ за відомим методом трапецій.

Використовуючи дані Таблиці 1, отримуємо:

$$\int_1^2 \frac{\ln x}{x^2 + 5} dx = h \left(\frac{y(1) + y(2)}{2} + y(1,1) + \dots + y(1,9) \right) = 0,05009.$$

Проведемо розрахунок за розробленою методикою:

$$\int_1^2 \frac{\ln x}{x^2 + 5} dx = \sum_{i=1}^n h \frac{OL_{i-1}(x_i + x_{i-1}) + 2 \left((x_{T,0,i-1} - x_{i-1})^2 + F^2(x_{i-1}) \right) - 2x_{T,0,i-1} \cdot OL_{i-1}}{2LD_{i-1}} = 0,05209.$$

При порівнянні результатів розрахунків за відомими формулами з тими, що отримані внаслідок розробленої методики було доведено можливість застосування запропонованого методу обробки сигналів сенсорів інтегральних фізичних величин, як параметричного так і генераторного принципу функціонування, при цьому із застосуванням методів лінійної апроксимації досягнуто розбіжність результатів у межах 5% в порівнянні з методами квадратичної апроксимації.

Висновки

Розглянуто можливість чисельної обробки сигналів генераторних та параметричних перетворювачів фізичних величин. Запропоновано використання метода дотичних, що дозволяє розробку різноманітних перетворювачів фізичних величин. Запропоновано логічну блок-схему розробленого чисельного методу розрахунку визначеного інтеграла.

Література

1. Давачі : довідник / З. Ю. Готра, Л.Я. Іляницький, Є.С. Поліщук, та ін. ; під ред. З. Ю. Готри та О.І. Чайковського]. – Львів : Каменяр, 1995. – 312 с. – ISBN 5-7745-0233-3.
2. Виглеб Г. Датчики / Г. Виглеб ; [пер. с нем. М. А. Хацериова]. – М. : Мир, 1989. – 196 с. – ISBN 5-03-000634-6.
3. Осадчук О.В. Обробка вимірювального сигналу сенсора за допомогою параболічної інтерполяції / Осадчук О.В., Савицький А.Ю., Звягін О.С. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 2. – С. 153–158.
4. Осадчук О.В. Прилад для вимірювання вологості повітря чистих кімнат / Осадчук О.В., Савицький А.Ю., Жагловська О.М. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 4. – С. 60–64.

Рецензія/Peer review : 3.3.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., професор, Злепко С.М.

EVOLUTION OF EXPERT COMPETENCES IN ESTIMATING A FINITE SET OF OBJECTS BY A GIVEN COMPARISON SCALE VIA PAIRWISE COMPARISON MATRICES WITHIN THE SPACE OF POSITIVE INVERSE-SYMMETRIC MATRICES

For an expertise, expert competences are shown how they should evolve through multistage expert procedure in estimating a finite set of objects. The hierarchical multicriteria problem by finite number of possible solutions is exemplificative, where the objects' pairwise comparison approach is used. Expert competences are calculated by finding ratios of the expert's accuracy to the sum of accuracies of all experts. The accuracy, calculated with matrix distances, is normalized so that its maximal value is 1 and its minimal value is greater than zero. This provides avoiding both infinite accuracy and zero inaccuracy. Thus, expert competences are calculable at any stage of the expert procedure. The presented evolution routine allows to learn and trace close-to-real expert competences what ensures good enough solutions for multicriteria problems, ranking, proportionality to the experts' pays for their work, approximate level of the computer network and database access.

Keywords: expert procedure, experts' competences, multicriteria problem, pairwise comparison matrix, matrix distance, expert's accuracy.

V.V. РОМАНЮК
Хмельницький національний університет

ЕВОЛЮЦІЯ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЕКСПЕРТІВ В ОЦІНЮВАННІ СКІНЧЕННОЇ МНОЖИНИ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДАНОЮ ШКАЛОЮ ПОРІВНЯНЬ ПО МАТРИЦЯМ ПОПАРНИХ ПОРІВНЯНЬ У ПРОСТОРІ ДОДАТНИХ ОБЕРНЕНО-СИМЕТРИЧНИХ МАТРИЦЬ

На прикладі експертизи показується, як компетентності експертів мають змінюватись у багатоетапній експертній процедурі в оцінюванні скінченної множини об'єктів. Ієрархічна багатокритеріальна задача зі скінченною кількістю можливих рішень є ілюстративною, де застосовується підхід з попарним порівнянням об'єктів. Експертні компетентності обчислюються через знаходження відношень точності експерта до суми точностей усіх експертів. Точність, обчислена за матричними відстаннями, нормалізується так, що її максимальне значення дорівнює 1 та її мінімальне значення є більшим за нуль. Це забезпечує уникнення одразу і нескінченно великої точності, і нульової точності. Таким чином, компетентності експертів можуть бути обчисленими на довільному етапі експертної процедури. Представлений алгоритм зміни дозволяє узнавати і відслідковувати експертні компетентності близько до їх реальної зміни, що забезпечує достатньо хороші розв'язки для багатокритеріальних задач, ранжування, пропорційності виплат експертам за їх роботу, наближеного рівня доступу до комп'ютерних мереж і баз даних.

Ключові слова: експертна процедура, компетентності експертів, багатокритеріальна задача, матриця попарних порівнянь, матрична відстань, точність експерта.

Problem of evaluating experts' competences

Before starting expert procedures, groups of experts are formed. Every field of study generates a lot of requirements to form the expert group appropriately. Number of experts, being no less than two, may be equal to a few hundred or a few thousand persons. The final assessment of the expert group is the quality of its decisions. The quality can be improved when judgments of smarter experts are accepted with greater weights, and judgments of experts of lower qualification are accepted with lesser weights [1, 2]. Distribution of the expert weights depends on how rigorous experts' judgments have been estimated by the preceding procedures [3, 4].

The expert's competence is founded on the personal qualification and accuracy during the preceding procedures [5, 6]. Competence of an expert is always influenced with competences of other experts which collaborate in the group [4, 5, 7]. An appropriate evaluation of experts' competences (EC) at every stage of expert procedure is needed within any field of study.

Known approaches to evaluate EC

When a single value is estimated, EC are evaluated simply by finding ratios of the expert's accuracy to the sum of accuracies of all experts [1, 3, 4, 8]. When a finite set of values is estimated, i. e. a vector value is studied, the same approach is used but accuracy is measured either on average or by weighting the vector components and summing them up to a whole aggregate [3, 9, 10]. The expert's accuracy is usually calculated as a function which is reciprocal to difference between the expert's current judgment and the current procedure consensus. A hindrance to such calculation stems from when the expert's current judgment coincides with the current procedure consensus. The accuracy cannot be accepted infinitely great. Another hindrance is that accuracy cannot fall to zero as well. For avoiding these hindrances, accuracy may be positively shifted by a slight magnitude and normalized. However, the magnitude value should be substantiated.

In solving the hierarchical multicriteria problem (HMCP) by finite number of possible solutions or alternatives, results of expert procedures are expert estimations (EE), rather than judgments [2, 4, 9]. Each of those EE is the pairwise comparison matrix (PCM) [5, 11]. As an instance of an HMCP, the well-known Saati method of analytic hierarchy process [11] operates with PCM involving at least two experts. And when a consensus PCM is

found [3, 9, 11], the experts' accuracies are to be calculated. The common way of the calculation is unclear so far, not mentioning the hindrances of infinite or zero accuracy.

Goal and bullets to be accomplished to meet it

The goal of this article is to develop statements which would let calculate the EC evolution in multistage ranking of an objects' finite set by a given comparison scale for EE presented as PCM. To meet the said goal, the following chain of operations is to be accomplished:

1. Suggest how to measure difference between the expert's PCM and the consensus PCM.
2. Based on the measured difference, state an expression by which the expert's accuracy is calculated ensuring exclusion of cases where accuracy might be infinite or zero.
3. Provide a routine of calculating EC at an expert procedure stage in solving an HMCP where objects' pairwise comparison approach (OPCA) is used.
4. Discuss the routine and formalization of its elements.

A metric to measure difference between the expert's PCM and the consensus PCM

A matrix can always be reshaped into a vector. This is why, to measure difference between the expert's PCM and the consensus PCM, the ordinary Euclidean distance is applicable. The metric is induced within the space

$$\mathcal{G}_N = \{ \mathbf{G} = [g_{ik}]_{N \times N} : g_{ik} > 0, g_{ik} = g_{ki}^{-1} \} \tag{1}$$

containing all $N \times N$ PCM generated by any scale of positive values, $N \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$. Difference between matrices

$$\mathbf{X} = [x_{ik}]_{N \times N} \in \mathcal{G}_N \text{ and } \mathbf{Y} = [y_{ik}]_{N \times N} \in \mathcal{G}_N$$

is the distance [11]

$$\begin{aligned} \rho_{\mathcal{G}_N}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) &= \|\mathbf{X} - \mathbf{Y}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N (x_{ik} - y_{ik})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N [(x_{ik} - y_{ik})^2 + (x_{ik}^{-1} - y_{ik}^{-1})^2]} = \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \left[(x_{ik} - y_{ik})^2 + \frac{(y_{ik} - x_{ik})^2}{(x_{ik} y_{ik})^2} \right]} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \frac{1 + (x_{ik} y_{ik})^2}{(x_{ik} y_{ik})^2} \cdot (x_{ik} - y_{ik})^2}. \end{aligned} \tag{2}$$

Distance (2) is equivalent to that one in \mathbb{R}^{N^2} between N^2 -dimensional points, but here it takes $\frac{N(N-1)}{2}$ terms owing to positive inverse-symmetry property in (1).

Calculation of the expert's accuracy

For J experts by $J \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$, the j -th expert's competence is a weight ξ_j which is

$$\xi_j \in (0; 1) \text{ for } j = \overline{1, J} \text{ by } \sum_{j=1}^J \xi_j = 1. \tag{3}$$

However, values $\{\xi_j\}_{j=1}^J$ may vary through a series of expert procedures. Thus, before the p -th expert procedure, the experts' weights (or EC) are $\{\xi_j(p)\}_{j=1}^J$. And after the p -th expert procedure, the experts' accuracies (EA) are $\{a_j(p)\}_{j=1}^J$. Then the competence of the j -th expert after the p -th expert procedure is

$$\xi_j(p+1) = \frac{a_j(p)}{\sum_{l=1}^J a_l(p)} \text{ for } j = \overline{1, J}. \tag{4}$$

Generally, the experts' accuracies $\{a_j(p)\}_{j=1}^J$ in the p -th procedure depend on the consensus estimation in this procedure (Figure 1).

Let there be N objects (alternatives, decisions, methods, models, criteria, etc.) by $N \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$ to be compared. Comparisons are made on the comparison scale which is [11]

$$L(S) = \left\{ \left\{ m^{-1} \right\}_{m=2}^S, 1, \left\{ m \right\}_{m=2}^S \right\} \text{ by } S \in \mathbb{N} \setminus \{1\} \tag{5}$$

and has $2S - 1$ graduation marks. Denote by

$$\mathcal{B}_N(S) = \{ \mathbf{B} = [b_{ik}]_{N \times N} : b_{ik} \in L(S), b_{ik} = b_{ki}^{-1} \} \tag{6}$$

the finite space of all $N \times N$ PCM with the comparison scale (5). The space (6) is a partial case of PCM variety generated by the scale (5), and $\mathcal{B}_N(S) \subset \mathcal{G}_N$. In the p -th expert procedure, PCM of the j -th expert is

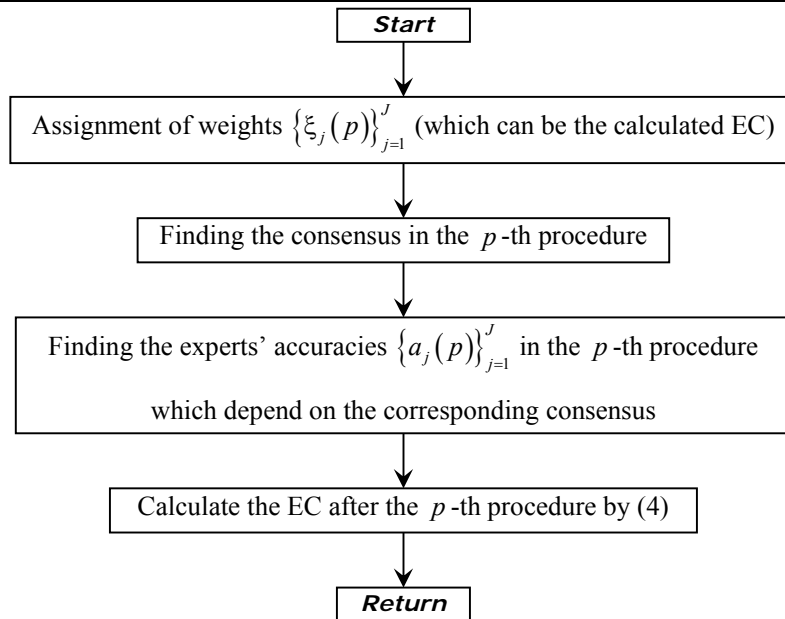


Figure 1. The generalized routine of calculating the EC $\{\xi_j(p+1)\}_{j=1}^J$ after the p -th expert procedure by (4)

$$\mathbf{B}_j(p) \in \mathcal{B}_N(S) \text{ by } \mathbf{B}_j(p) = [b_{ik}^{(j)}(p)]_{N \times N}.$$

The consensus PCM is $\tilde{\mathbf{B}}(p)$. Then, using the distance (2),

$$d_j^{(N)}(p) = \rho_{\mathcal{B}_N}(\mathbf{B}_j(p), \tilde{\mathbf{B}}(p)) \tag{7}$$

is a value showing how much the j -th expert is accurate in the p -th expert procedure, if the consensus PCM $\tilde{\mathbf{B}}(p)$ is the pivot. The ultimate inaccuracy is

$$d_{\max}^{(N)}(p) = \max_{l=1, J} d_l^{(N)}(p) \tag{8}$$

and the j -th expert's accuracy in the p -th expert procedure is

$$a_j(p) = \frac{d_{\max}^{(N)}(p) - d_j^{(N)}(p)}{d_{\max}^{(N)}(p)}. \tag{9}$$

Statement (9) allows to avoid infinite accuracy for $\mathbf{B}_j(p) = \tilde{\mathbf{B}}(p)$ inducing zero inaccuracy. Moreover, accuracy (9) has no measurement unit and $a_j(p) \in [0; 1]$ in any procedure. But a drawback is that when $a_j(p) = 0$ we have to put $\xi_j(p+1) = 0$ what is inadmissible. This means we must always have $a_j(p) \in (0; 1]$. So if

$$\exists j_0 \in \{1, J\} \text{ such that } a_{j_0}(p) = 0$$

then

$$a_j(p) = \frac{d_{\max}^{(N)}(p) - d_j^{(N)}(p) + d_{\min+}^{(N)}(p)}{d_{\max}^{(N)}(p) + d_{\min+}^{(N)}(p)} \tag{10}$$

by using the minimal nonzero distance

$$d_{\min+}^{(N)}(p) = \min_{\substack{l=1, J \\ \mathbf{B}_l(p) \neq \tilde{\mathbf{B}}(p)}} \rho_{\mathcal{B}_N}(\mathbf{B}_l(p), \tilde{\mathbf{B}}(p)). \tag{11}$$

Accuracy (10) is

$$a_j(p) \in \left[\frac{d_{\min+}^{(N)}(p)}{d_{\max}^{(N)}(p) + d_{\min+}^{(N)}(p)}; 1 \right] \tag{12}$$

implying that

$$a_j(p) < \sum_{l=1}^J a_l(p)$$

and, eventually, $\xi_j(p+1) \in (0; 1)$ by (4) what satisfies the condition (3).

A routine of EC calculation where OPCA is used

When a finite set of objects is estimated (ranked) by OPCA, EC $\{\xi_j(p)\}_{j=1}^J$ evolve as the p -th expert procedure shifts the $(p-1)$ -th one (Figure 2). The evolution is influenced with the comparison scale (5), although distance (2) was chosen relevantly to the space (1) of all positive inverse-symmetric matrices (PISM).

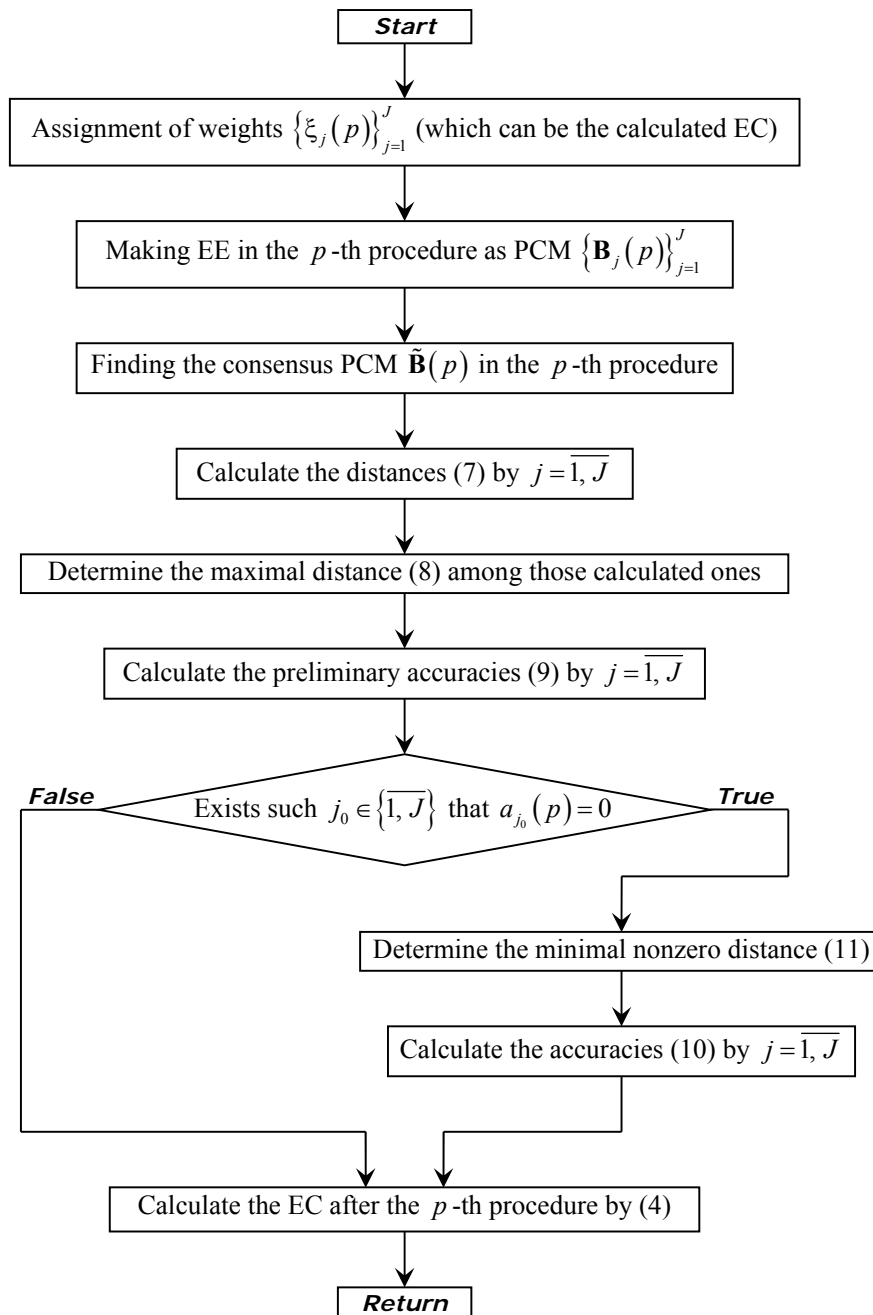


Figure 2. A routine of calculating the EC $\{\xi_j(p+1)\}_{j=1}^J$ after the p -th expert procedure by (4) in solving an HMCP where OPCA is used

The initial EC $\{\xi_j(1)\}_{j=1}^J$ for the routine in Figure 2 are usually assigned identical, $\{\xi_j(1) = J^{-1}\}_{j=1}^J$. Further, they change regarding accuracies by either (9) or (10). Number of expert procedures is not limited. Figure 2 does not specify how the consensus PCM $\tilde{\mathbf{B}}(p)$ is found. In fact, the initial EC $\{\xi_j(1)\}_{j=1}^J$ are not specified also, and they can be specifically assigned non-identical, if experts' experiences are diverse or the problem is solved by recruiting experts from diverse fields of study bearing different importances.

The routine does not restrict us in measuring difference between the expert's PCM and the consensus PCM. Instead of the metric (2), any other metric to show the j -th expert's accuracy in the p -th expert procedure may be used, whichever is preferred. Only the space (1) of all PISM and its subspace (6) must induce it.

Discussion

In single-point numerical estimation, EC are calculated identically to (4), but accuracies are often determined as inverse magnitudes of errors. This is like taking the distance $d_j^{(N)}(p)$ by (7) as an error, whereupon $\frac{1}{d_j^{(N)}(p)}$ would have been the corresponding accuracy. To avoid infinite accuracy by zero errors, the accuracy conception (9) can be used, whatever approach for finding the consensus is used. Formula (9) is relevant also to non-matrix distances and to approaches not concerning PCM or HMCP.

Both the routines in Figure 1 and Figure 2 are executed straightforwardly except the cases when accuracy (9) turns zero. Generality of calculating the EC $\{\xi_j(p+1)\}_{j=1}^J$ after the p -th expert procedure by (4) is plain and simple. The routine in Figure 2 just refines it for solving an HMCP where OPCA is used. Elements of this routine have been prudently formalized in formulas (7) — (11) and (4). They are universally applicable to an expertise with constant number of experts. Integer S in the comparison scale (5) and number of objects may be changeable, if conditions of the problem admit that.

Conclusion

The presented routine in Figure 2 allows to trace the EC evolution through multistage expert procedure in estimating a finite set of objects by the comparison scale (5) via PCM within the space (1) of all PISM. Such procedures, except determining or approximating the objects' ranks or weights, are directed sometimes to exposing a group of the best experts which eventually get the highest weights. If an expert or a few ones are out of the expertise then their accuracies may be put minimal to sustain this routine. Purposely, out-of-the-procedure experts are those whose accuracies are exposed to be the smallest.

Knowing close-to-real EC ensures good enough HMCP solution, by either scalarizing the problem or solving it successively according to the determined criteria ranks or weights. By another way, EC $\{\xi_j(p+1)\}_{j=1}^J$ are proportional to the experts' pays for their work after the p -th procedure. Besides, EC $\xi_j(p+1)$ implies an approximate level of access granted for the j -th expert in computer networking, database development, social networks, etc.

References

1. Zhou Y. Bayesian network approach to multinomial parameter learning using data and expert judgments / Y. Zhou, N. Fenton, M. Neil // *International Journal of Approximate Reasoning*. — 2014. — Vol. 55, Iss. 5. — P. 1252 — 1268.
2. Ghyym S. H. A semi-linguistic fuzzy approach to multi-actor decision-making: Application to aggregation of experts' judgments / Seong H. Ghyym // *Annals of Nuclear Energy*. — 1999. — Vol. 26, Iss. 12. — P. 1097 — 1112.
3. Hurley W. J. Combining expert judgment: On the performance of trimmed mean vote aggregation procedures in the presence of strategic voting / W. J. Hurley, D. U. Lior // *European Journal of Operational Research*. — 2002. — Vol. 140, Iss. 1. — P. 142 — 147.
4. Fu C. A group evidential reasoning approach based on expert reliability / C. Fu, J.-B. Yang, S.-L. Yang // *European Journal of Operational Research*. — 2015. — Vol. 246, Iss. 3. — P. 886 — 893.
5. Zgurovsky M. Z. Group incomplete paired comparisons with account of expert competence / M. Z. Zgurovsky, V. G. Totsenko, V. V. Tsyganok // *Mathematical and Computer Modelling*. — 2004. — Vol. 39, Issues 4 — 5. — P. 349 — 361.
6. Fitó-Bertran À. The effect of competences on learning results an educational experience with a business simulator / À. Fitó-Bertran, A. B. Hernández-Lara, E. Serradell López // *Computers in Human Behavior*. — 2015. — Vol. 51, Part B. — P. 910 — 914.
7. Koehl V. A comparative study on different assessment procedures applied to loudspeaker sound quality / V. Koehl, M. Paquier // *Applied Acoustics*. — 2013. — Vol. 74, Iss. 12. — P. 1448 — 1457.
8. Lin V. S. Accuracy and bias of experts' adjusted forecasts / V. S. Lin, P. Goodwin, H. Song // *Annals of Tourism Research*. — 2014. — Vol. 48. — P. 156 — 174.
9. Kuznetsov M. P. Methods of expert estimations concordance for integral quality estimation / M. P. Kuznetsov, V. V. Strijov // *Expert Systems with Applications*. — 2014. — Vol. 41, Iss. 4, P. 2. — P. 1988 — 1996.
10. Huang X. Mean-variance models for portfolio selection subject to experts' estimations / X. Huang // *Expert Systems with Applications*. — 2012. — Vol. 39, Iss. 5. — P. 5887 — 5893.
11. Romanuke V. V. A criterion of aggregating expert estimations into consensus pairwise comparison matrix by a given comparison scale within the corresponding space of positive inverse-symmetric matrices // *Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences*. — 2016. — № 1. — P. 78 — 84.

Рецензія/Peer review : 17.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Стаття прорецензована редакцією

ОРГАНІЗАЦІЯ ГНУЧКОГО ДОСТУПУ ДО ДАНИХ В ДОДАТКАХ НА JAVA-ПЛАТФОРМІ

Розглянуто архітектурне рішення для організації універсального механізму доступу до інформації з java-додатків. Показано, як цей механізм може бути реалізовано з використанням шаблону проектування «об'єкт доступу до даних». Наведено uml-діаграми, які відображають структуру механізму доступу до даних, код реалізації мовою java, та проаналізовані наслідки використання зазначеного механізму.

Ключові слова: програмне забезпечення, дані, інформація, шаблон проектування, мова програмування java, uml-діаграма.

FLEXIBLE DATA ACCESS IN APPLICATIONS ON JAVA-PLATFORM

Designed architectural solution for universal mechanism to access information on java-applications. We show how this mechanism can be implemented using template design pattern "object data access". An uml-diagram reflecting the structure of the mechanism of data access, implementation code in java, and analyzed the consequences of the mechanism.

Keywords: software, data, information, design pattern, java language, uml-diagram.

Технології програмування на java-платформі широко використовуються розробниками програмного забезпечення для створення ефективних та гнучких додатків. Широкої популярності мова програмування java набула завдяки, в першу чергу, таким її особливостям, як: незалежність написаного коду від операційних систем, на яких цей код буде виконуватись; безперервне оновлення мови з врахуванням сучасних вимог в програмуванні; наявність «Загальної публічної ліцензії» (GNU або General Public License).

Переважна більшість додатків на мові java використовує в логіці своєї роботи дані. Дані можуть надходити з цілого ряду джерел: бази даних, файли, сервіси сторонніх систем, тощо. Крім того, для обробки даних в розроблюваних системах застосовуються відповідні технології програмування. Зважаючи на стрімкий прогрес в області інженерії програмного забезпечення та тенденції частої зміни вимог замовником, розробники програмного забезпечення повинні проектувати свої системи так, щоб існувала певна гнучкість архітектури програмної системи в залежності від джерел даних та технологій їх обробки. Це може бути досягнуто завдяки застосуванню шаблонів проектування (паттернів).

В роботі пропонується розглянути ефективне архітектурне рішення задачі створення гнучкого механізму доступу до інформації, що ґрунтується на шаблоні DAO (Data Access Object), та показати деякі аспекти його реалізації в коді на мові java.

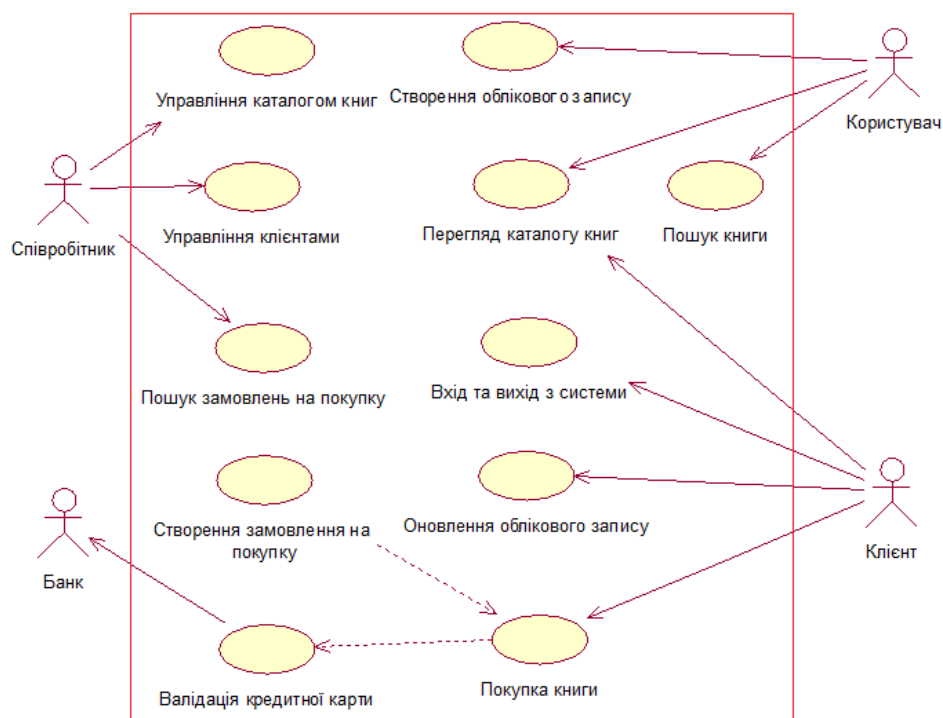


Рис. 1. Діаграма прецедентів книжкового магазину

Припустимо, що ми розробляємо програмну систему, яка маніпулює даними деякого книжкового магазину (рис. 1). Не зважаючи на те, в якій формі і з яких джерел отримана інформація, для її використання в об'єктно-орієнтованих програмах вона має бути попередньо інкапсульована в так звані «об'єкти-сутності». Для спрощення зазначимо, що в нашому ПЗ поряд з іншими «об'єктами-сутностями» предметної області існують такі «об'єкти-сутності» як книжки, автори книжок (рис. 2). Саме на маніпулюванні цими сутностями ми і сконцентруємо увагу для демонстрації суті механізму роботи з даними.

```

public class Book implements Serializable{
    . . . . .
    private String ISBN;
    private String title;
    private float price;
    . . . . .
    getter та setter - методи
}

public class Author implements Serializable{
    . . . . .
    private Integer authorID;
    private String firstName;
    private String lastName;
    . . . . .
    getter та setter - методи...
}

```

Рис. 2. Деякі «класи-сутності» предметної області

На рисунку 3 зображено діаграму класів, яка показує структуру паттерну DAO в рамках деякого прецеденту системи. Опишемо, коротко, учасників діаграми та їх взаємозв'язок.

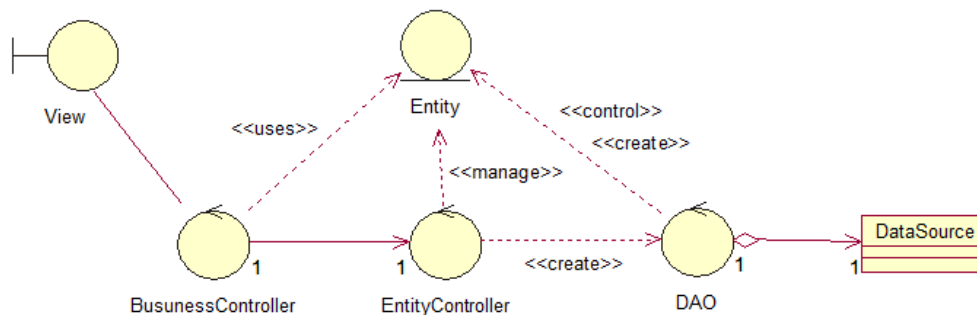


Рис. 3. Діаграма класів з елементами паттерну DAO

Клас з ім'ям View ототожнює деякий узагальнений інтерфейс користувача в рамках прецеденту (це може бути інтерфейс написаний з використанням графічних бібліотек Swing, JavaFX, Java Server Faces, та інших технологій чи мовах). Його призначення полягає в збиранні даних від користувача і зверненні до класу BusinessController за виконанням бізнес-логіки варіанта використання [1]. Клас BusinessController призначений для керування бізнес-логікою прецеденту. Він пов'язаний з View двонаправленою асоціацією, тому спілкування між бізнес-контролером та представленням відбувається в обох напрямках. Клас Entity є шаблоном «об'єктів-сутностей», що інкапсулюють дані з постійних сховищ в оперативній пам'яті для зручного їх представлення в об'єктно-орієнтованих програмах. Слід наголосити, що в рамках прецеденту можуть використовуватись об'єкти різних типів сутностей (наприклад типів «Замовлення», «Автор», «Книга», тощо). Призначення об'єкту класу DataAccessObject – містити методи для здійснення операції CRUD (create – read – update – delete) над «об'єктами-сутностями» одного типу в постійному сховищі. Для виконання цих функцій він делегує виклики об'єкту типу DataSource, який інкапсулює джерело даних (база даних, наприклад, RDBMS, система плоских файлів, XML-репозиторій, інша система, служба або який-небудь репозиторій LDAP). Слід зазначити, що для кожного типу сутності (Замовлення, Автор, Книга, тощо) в системі має утворюватись свій тип DAO-об'єкта, який створює, відшукує, змінює та видаляє конкретний тип об'єкта-сутності. Контролер з управління логікою роботи з постійними хранилищами даних (EntityController) відповідає за утворення різних типів DAO-об'єктів і і управляє ними. Об'єкт класу BusinessController пов'язаний однонаправленою асоціацією з об'єктом типу EntityController.

Які переваги надає такий спосіб організації архітектури системи стосовно механізму доступу до хранилищ даних? По-перше, об'єкт типу BusinessController тепер займається лише виконанням бізнес-логіки, а обов'язки по відпрацюванні операцій CRUD над сутностями делегується об'єкту EntityController який узгоджує поведінку різних DAO. Це рішення дозволить в майбутньому робити легку заміну одних версій об'єктів DAO на інші; по-друге, сам DAO-об'єкт теж володіє певною гнучкістю, бо запити до фізичного сховища він делегує DataSource, який теж можна динамічно замінювати.

На рис. 4 представлена діаграма послідовності дій, що показує взаємодії між різними учасниками в даному шаблоні.

Залишаються питання по структурі самих DAO-об'єктів і механізму, що їх створює. Нас буде цікавити ситуація, коли проектується система, яка матиме змогу працювати з різними видами фізичних сховищ даних (бази даних різних типів, файли, сервіси зовнішніх систем, тощо).

Для забезпечення цього механізму ми можемо використати можливості утворюючого шаблону проектування Abstract Factory (рис. 5).

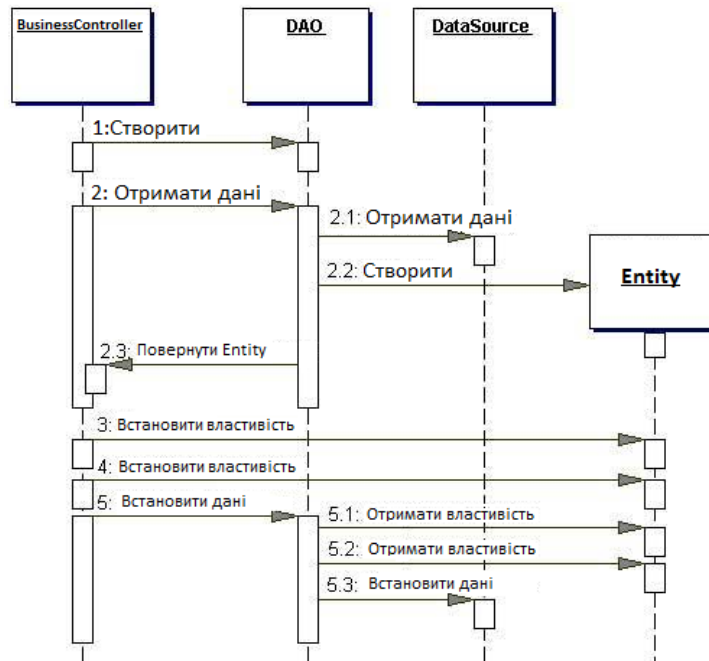


Рис. 4. Діаграма послідовності для шаблону DAO

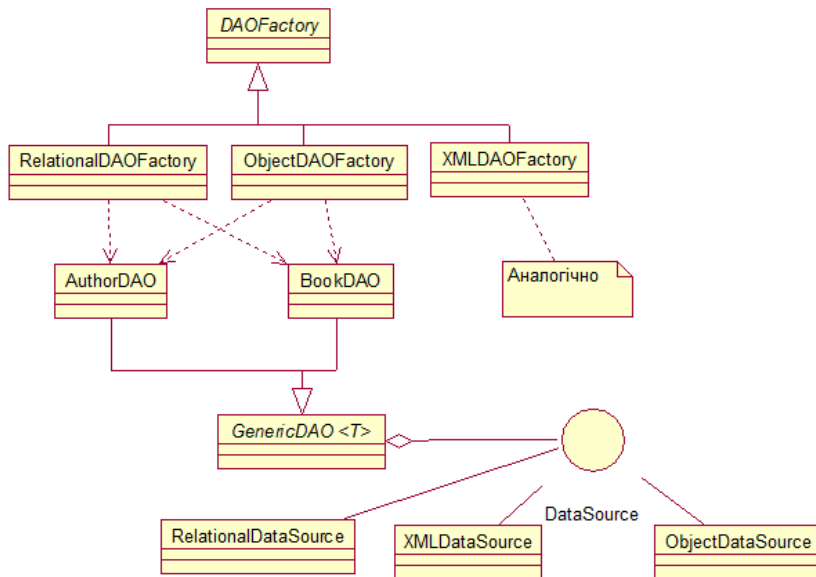


Рис. 5. Використання паттерну AbstractFactory для генерації DAO-об'єктів

Наведемо реалізацію паттерну DAO в кодї на мові java. На рисунку 6 показано абстрактний клас, який містить реалізацію метода getDAOFactory(...) по утворенню конкретних фабрик генераторів DAO-об'єктів для різних типів фізичних сховищ даних, та декларацію методів отримання конкретних генераторів (AuthorDAO, BookDAO, тощо), що реалізує кожна з фабрик.

На рисунку 7 наведено елементи реалізації фабрики DAO-об'єктів для реляційних сховищ, з якими java-програма співпрацює за технологією Java Persistence API (JPA). Кожен з конкретних DAO-об'єктів (рис. 9) наслідується від абстрактного узагальненого DAO (рис. 8).

```

public abstract class DAOFactory {
    //Список типів хранилищ даних
    public static final int RELATIONAL = 1;
    public static final int OBJECT = 2;
    public static final int XML = 3;
    //...
    // Тут буде метод для кожного DAO, який
    // може бути утворений. Реалізувати ці
    // методи мають конкретні генератори.
    public abstract AuthorDAO getAuthorDAO();
    public abstract BookDAO getBookDAO();
    //...
    public static DAOFactory getDAOFactory(int whichFactory) {
        switch (whichFactory) {
            case RELATIONAL:
                return new RelationalDAOFactory();
            case OBJECT :
                return new ObjectDAOFactory();
            case XML :
                return new XMLDAOFactory();
            //...
            default :
                return null;
        }
    }
}

```

Рис. 6. Абстрактний клас DAOFactory

```

// Конкретна реалізація DAOFactory для реляційного хранилища даних
public class RelationalDAOFactory extends DAOFactory {
    . . . .
    private static EntityManagerFactory emf = null;
    //Метод для створення фабрики менеджерів сутностей технології JPA
    //Конфігурація: JPA-провайдер, назва БД, тощо зчитується з xml-файла
    //з іменем persUnitName
    public static EntityManagerFactory getEMF(){
        if(emf == null)
            return Persistence.createEntityManagerFactory("persUnitName");
        else return emf;
    }
    // Реалізація AuthorDAO реляційним джерелом
    public AuthorDAO getAuthorDAO(){
        AuthorDAO authorDAO = new AuthorDAO();
        authorDAO.setDataSource(new RelationalDataSource <Author>());
        return authorDAO;
    }
    // Реалізація BookDAO реляційним джерелом
    public BookDAO getBookDAO(){
        BookDAO bookDAO = new BookDAO();
        bookDAO.setDataSource(new RelationalDataSource <Book>());
        return bookDAO;
    }
    . . . .
}

```

Рис. 7. Реалізація DAOFactory для реляційного сховища даних

```

public abstract class GenericDAO <T>{
    private DataSource dataSource;
    . . .
    public void setDataSource(DataSource dataSource) {
        this.dataSource = dataSource;
    }
    public boolean insertEntity(T entity){
        return dataSource.insertEntity(entity);
    }
    public void deleteEntity(T entity){
        dataSource.deleteEntity(entity);
    }
    public T findEntity(Criterion filter){
        return (T) dataSource.findEntity(filter);
    }
    public boolean updateEntity(T entity){
        return dataSource.updateEntity(entity);
    }
    public Collection selectEntities(Criterion filter){
        return dataSource.selectEntities(filter);
    }
    . . .
}

```

Рис. 8. Абстрактний DAO.

```
public class AuthorDAO extends GenericDAO <Author>{
    . . .
}
```

Рис. 9. Код конкретного DAO-генератора для підтримки роботи з об'єктами-сутностями типу «Автор»

Кожен DAO-об'єкт є універсальним через те, що виконує звертання до фізичного джерела не безпосередньо, а делегує виклики запитів об'єктам типу DataSource (рис. 10), одну з реалізацій якого наведено на рис. 11.

```
public interface DataSource <T>{
    . . .
    boolean insertEntity(T entity);
    boolean deleteEntity(T entity);
    T findEntity(Criterion filter);
    boolean updateEntity(T entity);
    Collection selectEntities(Criterion filter);
    . . .
}
```

Рис. 10. Інтерфейс доступу до фізичних сховищ даних

```
public class RelationalDataSource <T> implements DataSource <T>{
    . . .
    // Елементи реалізації методу вставки
    // для реляційного джерела даних
    public boolean insertEntity(T entity){
        . . .
        EntityManagerFactory emf = RelationalDAOFactory.getEMF();
        EntityManager em = emf.createEntityManager();
        EntityTransaction tx = em.getTransaction();
        tx.begin();
        em.persist(entity);
        . . .
        tx.commit();
        . . .
    }
    public boolean deleteEntity(T entity){
        // Реалізація видалення з реляційного джерела
    }
    public T findEntity(Criterion filter){
        // Реалізація пошуку в реляційному джерелі за умовами
    }
    public boolean updateEntity(T entity){
        // Реалізація зміни сутності в реляційному джерелі
    }
    public Collection selectEntities(Criterion filter){
        // Реалізація пошуку колекції сутностей
        // в реляційному джерелі за умовами
    }
    . . .
}
```

Рис. 11. Інкапсуляція реляційного джерела даних

У прикладі на рисунку 12 показано використання генератора DAO і DAO. Якщо реалізація міняється від реляційного до іншого сховища, необхідно змінити тільки виклик методу getDAOFactory () в генераторі DAO для отримання іншого генератора.

```
. . .
DAOFactory relDAOFactory = DAOFactory.getDAOFactory(DAOFactory.RELATIONAL);
AuthorDAO authorDAO = relDAOFactory.getAuthorDAO();
Author ivanov = new Author(. . .);
ivanov.setAddress(. . .);
ivanov.setEmail(. . .);
authorDAO.insertEntity(ivanov);
BookDAO bookDAO = relDAOFactory.getBookDAO();
bookDAO.deleteEntity(. . .);
. . .
```

Рис. 12. Елементи коду клієнта, де показано використання паттерну DAO

Таким чином, при використанні паттерну DAO розробник отримує наступні переваги [2]:

- додавання прозорості. Бізнес-об'єкти можуть використовувати джерело даних, нічого не знаючи про конкретні деталі його реалізації. Доступ є прозорим, оскільки деталі реалізації приховані усередині DAO;

- полегшує міграцію. Рівень об'єктів DAO полегшує додаткам міграцію на іншу реалізацію бази даних. Бізнес-об'єкти не знають про деталі реалізації використовуваних даних. Отже, процес міграції вимагає змін лише до рівні DAO. Більш того, при використанні стратегії генератора можна надати конкретну реалізацію генератора для кожної реалізації сховища даних. У цьому випадку міграція на іншу реалізацію сховища означає надання додатком нової реалізації генератора;

- зменшує складність коду в бізнес-об'єктах. Оскільки об'єкти DAO управляють усіма складнощами доступу до даних, спрощується код бізнес-компонентів та інших клієнтів даних, що використовують DAO. Весь залежний від реалізації код міститься в DAO, а не в бізнес-об'єкті. Це покращує читабельність коду і продуктивність розробки;

- централізує весь доступ до даних в окремому рівні. Оскільки всі операції доступу до даних реалізовані в об'єктах DAO, окремий рівень доступу до даних може розглядатися як рівень, ізолюючий іншу частину додатка від реалізації доступу до даних. Така централізація полегшує підтримку і управління додатком.

- додає додатковий рівень. Об'єкти DAO створюють додатковий рівень об'єктів між клієнтом даних і джерелом даних, який повинен бути розроблений і реалізований для використання переваг, пропонуєваних даними паттерном. Але за реалізовані при цьому переваги доводиться платити додатковими зусиллями при розробці.

Але використання паттерну вводить і деякі незручності - потрібна розробка ієрархії класів. Необхідно розробити і реалізувати ієрархію конкретних генераторів і ієрархію конкретних об'єктів, вироблених генераторами. Ці додаткові зусилля необхідно брати до уваги, якщо існує достатньо підстав для реалізації такої гнучкості. Ці обставини збільшують складність розробки.

Література

1. Бурлаков А.А. Архітектурне рішення задачі організації доступу до інформації в java-додатках / А.А. Бурлаков // Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції "Наука і освіта – 2015". – Прага, 2015. – С. 71–78.
2. Core J2EE Patterns – Data Access Object [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.oracle.com/technetwork/java/dataaccessobject-138824.html, вільний. – Назва з екрану. – Дата звернення : 05.12 2015. – Мова англ.
3. Эккель Б. Философия Java. Библиотека программиста / Б. Эккель. – 4 издание. – СПб : Питер, 2009. – 559 с.
4. Шилдт Г. Java Полное руководство / Г. Шилдт. – 8-е изд. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2012. – 1104 с.

Рецензія/Peer review : 15.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф., Марченко В.Л.

КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОГО, СОНЯЧНОГО, ГАЛАКТИЧНОГО І МЕТАГАЛАКТИЧНОГО МАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА II

На основі аналізу сучасних геофізичних, астрофізичних та космологічних даних, а також отриманих розрахункових та експериментальних результатів, запропонована концепція когерентної гравітації, яка розвиває ієрархічну модель Всесвіту Ламберта-Мельє та є альтернативною до пануючої на-сьогодні концепції, що базується на космологічному принципі та загальній теорії відносності Ейнштейна. Розглянуті процеси гравітаційного колапсу та нестационарної акреції речовини, які ведуть до формування контактних розривів в ядрах космічних систем та генерації гравітаційних хвиль. Досліджений каскадний транспорт енергії та ентропії по спектру масштабів квазідвовимірної контактної-наведеної космічної турбулентності. Показано, що рівноважна температура реліктового космічного випромінювання обумовлена дисипацією ентропії космічної турбулентності на "пісочному" гало Метагалактики, а не гіпотетичним Великим Вибухом. На основі аналізу останніх космічних даних з анізотропії реліктового випромінювання встановлена загальна структура Метагалактики. Визначена маса Галактики та Метагалактики. Оцінені напруженості діючого Галактичного, Метагалактичного та Надметагалактичного гравітаційного поля поблизу Землі. Показано, що відхилення від Кеплерових форм фінітного руху космічної речовини у Галактичному диску обумовлені не гіпотетичною чорною матерією, а контактної-наведеними гравітаційними хвилями. Відмічено, що відоме червоне зміщення у спектрах дальніх галактик пояснюється непружною взаємодією світла з частинками космічного пилу, гравітаційно пов'язаними з оберненим енергетичним каскадом контактної-наведеної космічної турбулентності. Це прямо заперечує існуючі на сьогодні космологічні моделі – в першу чергу стандартну космологічну модель лямбда-CDM, побудовану на штучних поняттях чорної матерії та темної енергії. Показано, що характерні часові масштаби Метагалактики вимірюються трильйонами, а Надметагалактики – квадрильйонами земних років, що не йде ні в яке порівняння з часовими масштабами Фрідманових та сучасних космологічних моделей. Розглянуто геоcontactне динамо як механізм кліматичних змін та нинішнього глобального потепління на Землі. Наведені часові залежності відносної швидкості руху у внутрішньому контактному розриві твердого ядра Землі, які пояснюють динаміку кліматичних змін на протязі останнього століття, а також довготривалу циклічність клімату Землі. Обґрунтовані контактні механізми генерації і переполюсування геомагнітного та геліомагнітного поля.

Ключові слова: контактне динамо, когерентність, гравітація, гравітаційний колапс, нестационарна акреція, ядро, оболонка, контактний розрив, космічна турбулентність, енергія, ентропія, каскад, реліктове випромінювання, червоне зміщення, галактика, Метагалактика, Надметагалактика, космологічна модель, глобальне потепління, геомагнітне поле, клімат Землі

YU. P. ZASPA
Khmelnytsky national university

CONTACT DYNAMO AS A GENERATOR OF THE COHERENT SPACE FORMS OF MOTION AND A SOURCE OF THE PLANETARY, SOLAR, GALACTIC AND METAGALACTIC MAGNETISM. PART II

Basing on the analysis of modern geophysical, astrophysical and cosmological data, as well as on the results of calculations and experiments, the concept of coherent gravity is put forward which develops the hierarchic model of the universe of Lambert-Melie and is alternative to the current conception, which is based on the cosmological principle and Einstein's relativity theory. The analyzed processes of gravitational collapse and nonsteady accretion of material substance, which lead to the formation of the contact discontinuity in the cores of space systems and the generation of gravitational waves. Investigated successive energy and entropy transportation of the spectrum scale of the quasi two-dimensional contact-induced space turbulence. It is shown that the equilibrium temperature of the cosmic microwave background radiation is caused by the dissipation of the entropy of the space turbulence on "sand" halo Metagalaxy, but not hypothetical Big Bang. Basing on the analysis of the latest cosmic data of cosmic microwave background anisotropy the general structure of Metagalaxy is established. The mass of the Galaxy and Metagalaxy is calculated. Estimated strength of Galactic, Metagalactic and Supergalactic gravitational field near the Earth. It is shown that the deviations from the Keplerian motion finite forms of the cosmic substances in the Galactic disk are conditioned not by the hypothetical dark matter but contact gravitational waves. It is noted that the well-known redshift in the spectra of distant galaxies happens due to the inelastic light interaction with particles of cosmic dust, which are gravitationally related to the inverse energy cascade of the contact-induced space turbulence. That denies the currently existing cosmological models - primarily the standard cosmological model Lambda-CDM, built on factitious notions of dark matter and dark energy. It is shown that the typical time scales of the Metagalaxy are measured in trillions of years and Supermetagalaxy - in quadrillions of the Earth years that cannot be compared with the time scales of Fridman and modern cosmological models. The geocontact is analyzed as the mechanism of climate changes and the present-day global warming on the Earth. Time-dependences of the relative speed of the internal contact discontinuity of the solid Earth core, which explain the dynamics of climate changes during the last century and long-term cyclical Earth's climate are modified. Generation contact mechanisms and reverse polarity of geomagnetic and heliomagnetic field are grounded.

Keywords: contact dynamo, coherence, gravity, gravitational collapse, nonsteady accretion, core, shell, contact discontinuity, space turbulence, energy, entropy, cascade, relic radiation, redshift, galaxy, Metagalaxy, Supermetagalaxy, cosmological model, global warming, geomagnetic field, the Earth's climate.

Вступ

Головною відмінністю нижченаведеної другої частини роботи є суттєве розширення "космографії" контактного динамо. Воно, в першу чергу, пов'язане з пошуком того ж-таки Великого Контактну (Big

Contact) [1], що є альтернативою відомим теоріям Великого Вибуху (Big Bang), та прямо стосується анізотропії реліктового космічного випромінювання [2]. Намагання пояснити цю анізотропію в рамках Фрідманових космологічних моделей призвели до реінкарнації відомої космологічної постійної Ейнштейна та утвердження т.з. стандартної космологічної моделі лямбда – CDM (Lambda Cold Dark Matter), що базується на вельми сумнівних поняттях чорної матерії та темної енергії [2–5]. Сумнівних, якщо не сказати більше. Нижче буде сказано більше.

Ієрархічна концепція Всесвіту Ламберта-Мельє

Сучасна космологія, як відомо, базується на т.н. космологічному принципі Ейнштейна, що постулює однорідність та ізотропність Всесвіту у великих масштабах. На-сьогодні цей хибний постулат, на жаль, ставиться під сумнів лише в окремих роботах з експериментальної космології [6, 7]. Тотальна більшість астрофізиків та космологів світу з легкістю приймає на віру презумпцію однорідності та ізотропності Всесвіту, введена у вжиток століття тому “з легкої руки” Альберта Ейнштейна. Пояснення гравітаційного та фотометричного парадоксів на цій основі [8, 9] безнадійно відкинуло на задній план протилежну за змістом концепцію ієрархічного Всесвіту Ламберта-Мельє [10, 11]. В космології XXI століття ця концепція взагалі не знаходить собі місця, що, з нашої точки зору, є однією із найбільших втрат за всю історію науки. Ціна цієї втрати – століття, змарноване у пошуках скривлення простору і часу, чорних дір та темної енергії.

Нижче на основі аналізу експериментальних космологічних та астрофізичних даних буде доведена справедливості критерію Мельє в галактичних та метagalактичних масштабах:

$$R_k / R_{k-1} \geq \sqrt{N_k} \quad (1),$$

де R_k , R_{k-1} – масштаби k -го та $k-1$ -го рівня ієрархії Всесвіту, N_k – число елементів нижнього ієрархічного рівня у вищому. Цей критерій виконується із наростаючим запасом по мірі збільшення ієрархічного масштабу, що повністю підтверджує концепцію Ламберта-Мельє та відкидає космологічний принцип Ейнштейна.

Ілюзії та міфи загальної теорії відносності Ейнштейна

В 2015–2016 рр. відзначається століття з часу створення Альбертом Ейнштейном загальної теорії відносності, яка нібито вказала “застарілій” Ньютоновій теорії гравітації на її скромне місце в тихому кутку швидкостей, малих порівняно з новим абсолютотом – швидкістю світла у вакуумі. Слідом за Махом [12], Ейнштейн відкинув і “старі” Ньютонівські абсолютоти – Абсолютний простір і Абсолютний час, а також “вроджену” (а не відносну) інертність матеріальних об’єктів. Сто років, що пройшли з того часу, були “тріумфальними” для загальної теорії відносності та її космологічного тлумачення. Нестационарні рішення рівнянь Ейнштейна, отримані у 1922 р. Олександром Фрідманом, та сприйняті спочатку з застереженням, стали канонічними після результатів Хаббла, інтерпретованих в термінах розширення Всесвіту, а також відкриття Пензіасом і Вільсоном фонового космічного радіовипромінювання, названого врешті “реліктовим” – з часів Великого Вибуху, постульованого О. Фрідманом та конкретизованого його учнем Г. Гамовим в теорії Гарячого Всесвіту [13]. Ця теорія, модифікована спочатку у відому теорію Інфляції [13], дістала остаточне оформлення у згаданій вище сучасній стандартній космологічній моделі лямбда-CDM, що доповнила відомі види матерії та енергії темними складовими, недоступними для спостереження, однак конче необхідними для продовження триваючої вже століття ейфорії (чи то-істерії) щодо Ейнштейнового трактування простору, часу та гравітації. Апофеозом останньої стало “відкриття” гравітаційних хвиль, які з самого початку були невід’ємною складовою кривлення простору і часу, та вловились акуратно в сторіччя загальної теорії відносності [14]. Однак, the show must NOT go on.

Нижче на основі аналізу сучасних космологічних та астрофізичних даних, а також отриманих розрахункових та експериментальних результатів, буде доведено, що загальна теорія відносності Ейнштейна – це по суті зухвала та нікчемна спроба втиснути гравітацію в “прокрустове ложе” електромагнетизму. Всі без виключення експериментальні дані, що ніби – то свідчать на користь цієї теорії, на жаль, заангажовані сумнівним авторитетом її творця. А саме: червоне зміщення у спектрах віддалених галактик обумовлене не ефектом Доплера, що ніби-то підтверджує розширення Всесвіту, а непружною контактною взаємодією світла з частинками космічного пилу, що гравітаційно пов’язаний з оберненим каскадом енергії квазідвовимірної контактної-наведеної космічної турбулентності. Фонове космічне радіовипромінювання, *a priori* приписане до гіпотетичного Великого Вибуху, в дійсності обумовлене дисипацією енергії цієї ж – таки турбулентності на “пісочному” галіо Метagalактики (розглядається нижче). Характерні часові параметри Метagalактики становлять трильйони земних років (вищого за неї рівня Надметagalактики – квадрильйони років), а не жалюгідних 13,8 млрд. років, скупі відміряних Всесвіту авторами найсучасніших космологічних моделей [2-5].

Контактно – наведені гравітаційно - акустичні хвилі, що попередньо розглядалися в першій частині роботи [1], зв’язують воедино всі рівні організації космічного поля руху – від планет нашої Сонячної системи до Надметagalактики і Всесвіту в цілому. Кожна підсистема останнього, таким чином, не є ізольованою (або ж закритою), адже гравітація є всепроникною (при супутньому обміні масою, енергією та ентрофією між підсистемами). Це автоматично відкидає застосування відомої теореми віріала окремо до

цих підсистем, що ніби-то свідчить на користь прихованої маси та темної енергії [13].

Метою даної роботи є фактичне відновлення Ньютонової концепції простору, часу і гравітації, а також ієрархічної концепції Всесвіту Ламберта – Мельє після століття невинуватених претензій, ілюзій та міфів “загальної” теорії відносності Ейнштейна.

Гравітаційний колапс та нестационарна акреція речовини як механізми утворення контактної розриву в ядрах планет, зірок, галактик, а також в ядрі Метагалактики

Спільність зовнішніх проявів контактної динамо в космічних системах різного рангу [1] свідчить про єдність фізичних механізмів утворення контактних розривів у ядрах цих систем. Ці механізми, вочевидь, зводяться до відомої схеми гравітаційного колапсу [13] та практично невідомої на сьогодні схеми нестационарної акреції речовини в умовах контактної-наведених гравітаційно-акустичних хвиль. На першому етапі цього процесу утворюється відносно невелике внутрішнє ядро майбутньої космічної системи, відділене від оболонки характерним мінімумом радіальної швидкості руху речовини – рис.1. Цей етап завершується генерацією ударної хвилі, що остаточно відділяє ядро від оболонки (момент часу t_5 на рис.1). Після цього т.з. “гідродинамічного відскоку” починається етап нестационарної акреції оболонки на внутрішнє ядро, характер якої суттєво залежить від обертання космічного об’єкту та його магнітного поля [13]. Динаміка такого роду процесів на сьогодні промодельована без врахування металізації водню в ядрі (або ж нейтронізації ядра) та пов’язаного з цим явища контактної динамо в космічних системах [1]. Найважливішим наслідком такого динамо – процесу є генерація когерентних гравітаційно – акустичних хвиль, які, власне, і формують оболонку. Супутню генерацію магнітного поля в даному випадку слід віднести до ефектів другого порядку значущості.

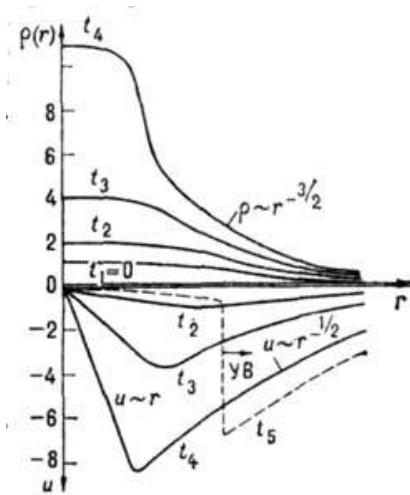


Рис. 1. Якісний вид розподілу густини та радіальної швидкості речовини при гравітаційному колапсі в послідовні моменти часу. UB – фронт ударної хвилі [13]

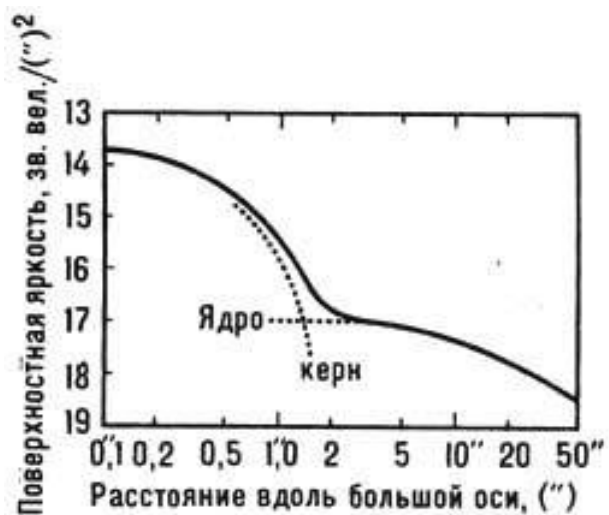


Рис. 2. Фотометричний профіль ядра галактики М31 (Туманність Андромеди) [13]

Створення будь - якої космічної системи відбувається на певному конкретному етапі Абсолютного часу та в деяких локальних умовах Абсолютного простору. Ці умови автоматично передбачають апріорне існування системи вищого рангу, яка вміщує в собі дану “новонароджену” підсистему. Отже “короткий вік” нашої Галактики (найстарші зорі оцінюються віком понад 15 млрд років [13]) аж ніяк не протирічить вищезгаданім квадрильйонним рокам існування Надметагалактики.

Ієрархічна “управлінська вертикаль” Космосу, на наш погляд, забезпечується саме механізмом контактної динамо. Внаслідок когерентного синтезу оболонок створюються зовнішні космічні контакти, що генерують вторинні гравітаційно – акустичні хвилі в даній системі, а також чутливо реагують на космічні сигнали, що йдуть як з верхніх, так і з нижніх шаблів космічної ієрархії. На жаль, сьогоднішня астрофізика, вихована в душі Ейнштейнівського релятивізму, впритул не помічає такого роду структури в Сонячній системі та в нашій Галактиці. Наприклад, контактні гравітаційні лінзи у вигляді Зодіакальної пилової хмари, Головного поясу астероїдів, астероїдів системи Хільди, троянських астероїдів Юпітера, поясу Койпера у Сонячній системі [1]. Або ж у вигляді “загадкового кільця в п’ять кілопарсек” в балджі Чумацького Шляху [39], чи то у вигляді структур у балджі сусідньої Туманності Андромеди – рис.2. Інтенсивний пошук ядра Чумацького Шляху привів врешті до скупчення зірок Стрілець А Західний, в якому знайдений наймасивніший та найзагадковіший об’єкт Галактики – Sgr A* (Sagittarius A - star) [15–17, 20], автоматично зачислений в чорні діри – квінтесенцію Ейнштейнівського релятивізму, “схоплену” К.Шварцшильдом [18], та суттєво “відредаговану” С. Хокінгом [19]. Остання редакція, як відомо, полягала у тому, що не такі вони вже і чорні – ці діри – жорстко випромінюють в процесі “пожирання” оточуючої космічної речовини. Несподіваний конфуз теоретиків чорних дір – пряма “відмова” Стрільця А* від

поїдання пилової хмари G2, що, як ні в чому не було, пройшла повз нього в серпні 2014 р. [20], був пояснений цілком у дусі релятивізму: причина, скоріш за все, у самій хмарі, яка підступно сховала у собі масивну зорю [20].

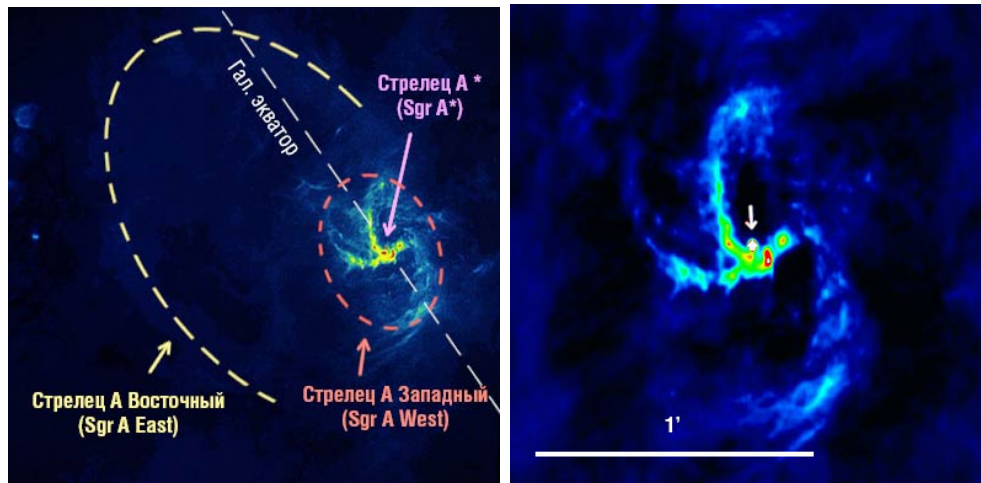


Рис. 3. Радіозображення центральної частини Галактики на довжині хвилі 3,6 см [15]

Багатолітні ретельні спостереження за рухом зірок навколо об'єкту Sgr A* дозволили з високою точністю встановити його масу: $M = (4,31 \pm 0,36) \cdot 10^6 M_S$, де $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ кг – маса Сонця [16]. Відповідний гравітаційний радіус Шварцшильда (горизонт подій чорної діри) складає:

$$r_s = 2G \cdot M / c^2 \approx 1,3 \cdot 10^{10} \text{ м} \quad (2),$$

(тут G – стала всесвітнього тяжіння, c – швидкість світла у вакуумі). Останні спостереження внутрішнього диску об'єкту Sgr A*, виконані з рекордним кутовим вирішенням [20], приводять до значення радіуса диску $r_d \approx 2 \cdot 10^{10}$ м, вельми близько до r_s . В даному випадку гравітаційний колапс, що породив Sgr A*, в термінах загальної теорії відносності слід віднести до релятивістських:

$$\varphi(r_d) / c^2 = G \cdot M / (r_d \cdot c^2) \approx 0,32 \quad (3),$$

де $\varphi(r_d)$ – Ньютонівський гравітаційний потенціал на границі диску. Однак, нічого “страшного”, як уже відмічалось, не відбувається, а загадкові для сучасної астрофізики різномасштабні коливання і пульсації яскравості Sgr A* в інфрачервоному діапазоні спектру [15-17] обумовлені механізмом контактного динамо. Не менш “загадкові” спіральні структури руху космічної речовини у зовнішньому акреційному диску Sgr A* [15] (рис. 3) слід віднести на рахунок того ж вихоре-хвильового динамо-процесу.

Квазидвовимірна контактна турбулентність, каскадний транспорт енергії та енстрофії по спектру збурень в технічних і космічних системах

Як відмічалось раніше [1], динамічна поведінка технічних та космічних контактних систем становить скоріше психологічну, ніж фізичну різницю, адже ґрунтується на спільних законах гідродинамічної турбулентності. Акустоemisійні методи аналізу технічних систем [21–23] суттєво доповнюються наявними вражаючими візуалізаціями систем космічних. Найнесподіваним результатом порівняльного аналізу цих двох типів динамічних систем з неспівставними масштабами став математичний вираз еквівалентної частоти плавучості N для “твердотільних” мод контактного динамо [1]:

$$N(h) = 2\pi \cdot (g / 8h)^{1/2} \quad (4).$$

Ця частота по суті є частотою нормальних контактних коливань висотою h у зовнішньому гравітаційному полі напруженістю g . Вираз (4) вельми далекий від добре відомої частоти Брента-Вяйсяля для гравітаційних хвиль у стратифікованій рідині [1, 24]. Ця різниця радикально розширює наше розуміння спектрів контактної-наведеної технічної та космічної турбулентності.

Сучасні методи розрахунку квазидвовимірної гідродинамічної турбулентності використовують хвильовий підхід до моделювання складної динаміки завихореності поля швидкостей частинок середовища, який приводить до формування тріад (трійок хвиль), що переносять енергію та енстрофію по спектру збурень [25]. Для квазидвовимірної турбулентності, як відомо [25], характерний прямий каскад енстрофії (в бік менших масштабів) при оберненому каскаді енергії. При цьому як енергія, так і енстрофія переносяться, як правило, суттєво асиметричними тріадами хвиль у складі двох майже однакових за масштабом хвиль (діапазону накачки) та суттєво відмінної від них третьої хвилі – відповідно з масштабом, характерним для діапазону енергії, або ж енстрофії [25]. Комп'ютерне моделювання такого роду процесів завідомо обмежене апріорно фіксованим характером енергетичної накачки вимушеної турбулентності [25]. В реальних

технічних та космічних контактних системах накачка має конкурентний характер і здійснюється в різних часових та просторових масштабах. В результаті, як правило, встановлюється псевдостационарний режим контактної – наведеної турбулентності, який, тим не менш, є термодинамічно нерівноважним і високо адаптивним до зміни внутрішніх та зовнішніх умов функціонування умовно виділеної динамічної підсистеми. Перенесення енергії та енстрофії по спектру збурень нелокальними (асиметричними) тріадами хвиль, як буде показано в третій частині роботи, пояснює найбільш вражаюче на сьогодні (і найменш зрозуміле в рамках існуючих моделей) космічне явище – релятивістські джети (струмені), згенеровані блазарами [26, 27].

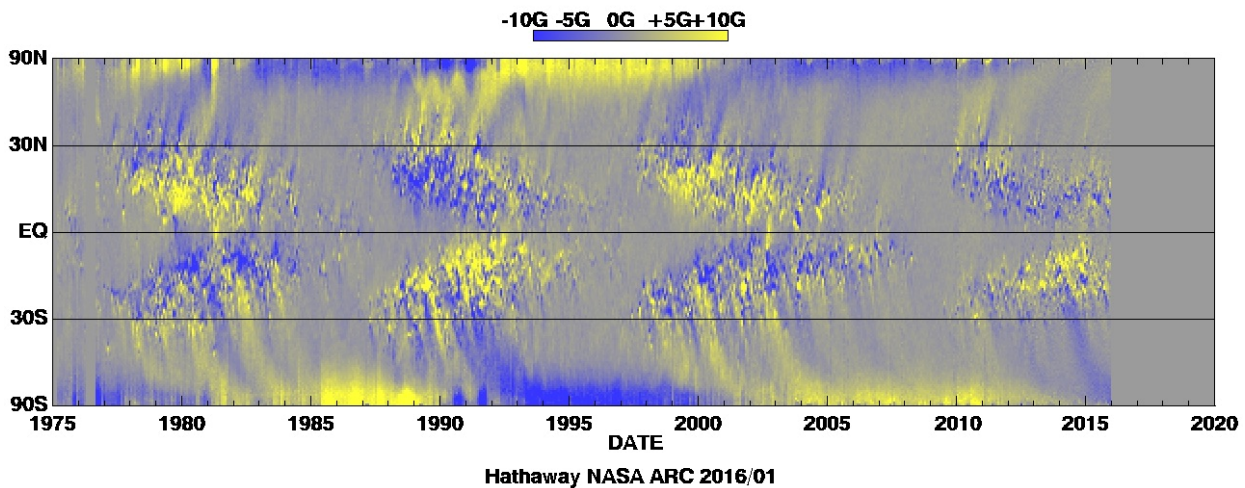


Рис.4. Синоптическая магнітограма радіальної компоненти поверхневого геліомагнітного поля [42].

Локалізовані когерентні структури руху, утворені в космічних контактах, здатні долати величезні відстані, з’являючись врешті у зовсім несподіваних місцях та у вкрай дивному вигляді. Зокрема, до цих “дивних” для сучасної астрофізики об’єктів слід віднести сонячні плями, що формують активні зони на Сонці та відомі “метелики Маундера” (рис. 4). Сюди ж відносяться спікули у верхній хромосфері – нижній короні Сонця (рис. 5). Якщо плями генеруються у внутрішньому міжядерному контакті [1], то спікули – на вузькій (~100 км) контактній границі фотосфери та конвективної зони Сонця [28]. Дисипація енстрофії у приконтактних зонах космічних систем, як буде показано нижче, пояснює широке коло малозрозумілих на сьогодні природних явищ – від глобального потепління на Землі до “аномально” високої температури Сонячної корони та відносно низької рівноважної температури реліктового космічного випромінювання. Водночас, результатом конверсії енергії гравітаційного поля в кінетичну енергію гамма-квантів та нейтрино – антинейтринних пар у релятивістських джетах є прискорення цих елементарних частинок до енергій порядку сотень джоулів (~10²¹ eВ) (розглядається у третій частині даної роботи).

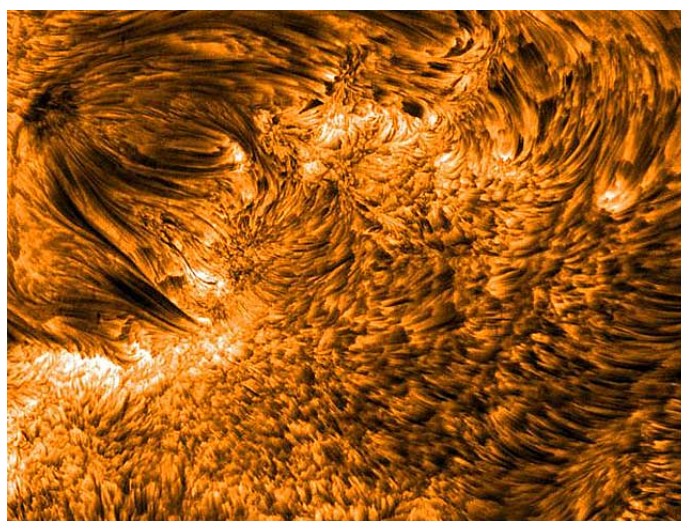


Рис. 5. Спікули у верхній хромосфері – нижній короні Сонця [43]

Геометрія контактів по схемі сфера – сфера у внутрішніх розривах ядер планет, зірок та галактик

Умовно кажучи, динаміка контактної взаємодії на внутрішньому контактному розриві космічних систем зводиться до руху монетки, або ж обручки, запущених “з ребра” площиною стола [1]. Рівень складності та топологія поля швидкостей тут подібні, а характерні частоти можуть бути розраховані за

спільними формулами гравітаційних хвиль у рідині – із врахуванням резонатора когерентного контактного генератора хвиль [1].

На рис. 6 наведена схема контактування внутрішнього ядра та оболонки космічної системи із врахуванням полярного стиснення оболонки. Останнє грає важливу роль у формуванні контакту і значно відрізняється, наприклад, для Сонця ($\sim 10^{-5}$) та Землі ($\sim 10^{-3}$) [13]. Асиметрія сфери контакту, яка неминуче виникає внаслідок ротаційного “розтягування” екваторіальної частини космічного об’єкту, формує дві зони динамічного контакту: приполярну зону “вертіння з прецесією” (рис. 6 б) та приекваторіальну зону “кочення з прецесією” (рис. 6а). Кут φ співпадає з географічною широтою на поверхні об’єкта, h , l – піввисота та півширина профілю контактної зони, R – радіус внутрішнього ядра.

Подібна схема контактування може бути введена також при розгляді зовнішніх гравітаційних контактів в оболонці космічної системи (пиліві та астероїдні контактні лінзи, балджи, диски галактик та ін.).

Співвідношення для періодів контактної – наведених гравітаційних хвиль

Із введенням еквівалентної частоти плавучості (4) періоди “твердотільних” поверхневих та внутрішніх контактної – наведених гравітаційних хвиль знаходяться за співвідношеннями [1]:

$$T_{o,p} = 4\pi R / (p \cdot (gH)^{1/2}), \quad p = 1, 2, 3 \dots \quad (5)$$

$$T_{o,q} = 2\pi R \cdot q / (gH)^{1/2}, \quad q = 1, 2, 3 \dots \quad (6)$$

$$T_{m,i} = \frac{4\pi^2 R}{NH} \cdot \frac{m}{i}, \quad m, i = 1, 2, 3 \dots \quad (7)$$

$$T_{n,i} = \frac{4\pi^2 R}{NH} \cdot \frac{n-1/2}{i}, \quad n, i = 1, 2, 3 \dots \quad (8)$$

$$T_{m,j} = \frac{2\pi^2 R}{NH} \cdot m \cdot j, \quad m, j = 1, 2, 3 \dots \quad (9)$$

$$T_{n,j} = \frac{2\pi^2 R}{NH} \cdot (n-1/2) \cdot j, \quad n, j = 1, 2, 3 \dots \quad (10)$$

Тут H – товщина еквівалентного шару рідини, яка в розрахунках приймає характерні значення $H = R$, $H = h$, $H = l$ (рис.6). $T_{o,p}$, $T_{o,q}$ задають періоди відповідно коротких та довгих поверхневих гравітаційних хвиль,

$T_{m,i}$, $T_{n,i}$ – періоди коротких внутрішніх хвиль, $T_{m,j}$, $T_{n,j}$ – періоди довгих внутрішніх хвиль [1].

Індекси m і n визначають два суттєво відмінних випадки внутрішніх хвиль збуреного (контактно - наведеного) поля руху: m – моди відповідають формуванню вузлів поля контактних напружень і пучностей поля швидкостей на дні (в фазах максимального контактного зближення), в той час, як n – моди відповідальні за пучності напружень та вузли поля швидкостей. При цьому на товщині еквівалентного шару рідини вкладається або ціле число довжин квазістоячої (поперечної) компоненти внутрішньої хвилі (біжучої в поздовжньому напрямку) – m – мода, або ж напівціле число – n – мода. На поверхні еквівалентного шару рідини, тобто в центрі мас ротора [1], формується вузол поля напружень. Дно рідини, де, власне, і знаходиться механічний контакт ротора зі статором (або ж зовнішнім ротором) є динамічно активним, адже саме воно виступає генератором поверхневих та внутрішніх хвиль, а також – акустичних, які в рамках даного розгляду мають другорядне значення, однак важливі для структур, утворених в каскадах енстрофії.

Формування трійок хвиль у каскадах контактної-наведеної турбулентності космічних систем

Як уже відзначалось, асиметричні тріади, що беруть участь в турбулентних каскадах, містять дві компоненти з близькими масштабами. Це дозволяє встановити структуру когерентних форм руху, попарно зв’язуючи компоненти з періодами, що задаються співвідношеннями (5)-(10). Оскільки таких пар існує нескінченна кількість, слід вибрати особливо значущі з них. Суттєву підтримку тут становлять як експериментальні акустограми контактної динамо в технічних системах, так і наявні візуалізації

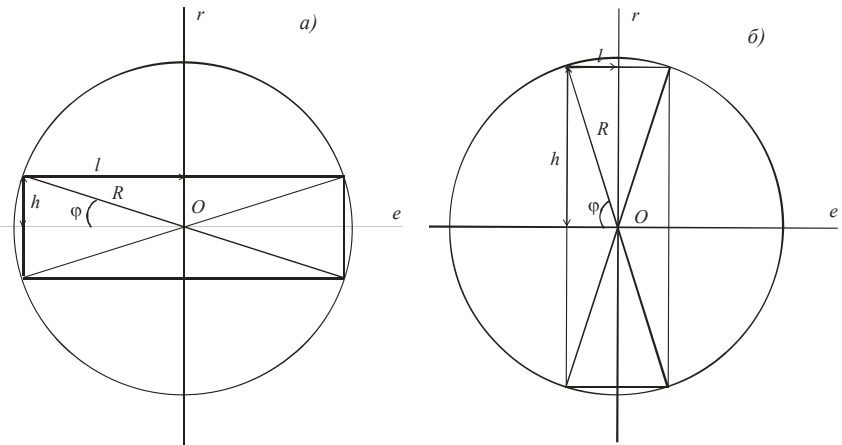


Рис. 6. Геометрія контактів “кочення з прецесією” (а) та “вертіння з прецесією” (б) по схемі сфера – сфера на внутрішньому контактному розриві в ядрах космічних систем: r – вісь обертання, e – екваторіальна площина

космічного поля руху (які в рамках традиційних уявлень не мають адекватного пояснення). Нижче розберемо найбільш характерні випадки.

R-R – моди

В даних трійках хвиль близькі періоди мають довгохвильові поверхні моди першого порядку ($T_{0,q=1}$) та короткохвильові внутрішні моди m -го (n -го) порядків ($T_{m,i}, T_{n,i}$). При цьому параметр H приймає значення $H = R, h = R \cdot \sin \varphi$ (рис. 6). Прирівнюючи (6) і (7), а також (6) і (8) із врахуванням (4), отримуємо такі обмеження на кут φ :

$$\sin \varphi = \frac{i^2}{8 \cdot m^2} \tag{11}$$

$$\sin \varphi = \frac{i^2}{8 \cdot (n - 1/2)^2} \tag{12}$$

Для внутрішніх мод першого порядку маємо:

$$m = 1, i = 1, \sin \varphi = 1/8, \varphi = 7,2^\circ \tag{13}$$

$$n = 1, i = 1, \sin \varphi = 1/2, \varphi = 30^\circ \tag{14}$$

Діапазон кутів $\varphi \approx 7,2^\circ \div 30^\circ$ вельми характерний для “метеликів Маундера” – (рис.4), сформованих, як уже відмічалось, структурами каскаду енстрофії в контактному розриві сонячного ядра. Переходячи від сонячних масштабів до земних, відмітимо, що підстанова в (4) замість h величини l (рис.6) і проведення аналогічних викладок для контакту “прецесійного вертіння” дають наступні обмеження:

$$m = 1, i = 1, \sin (90^\circ - \varphi) = \frac{1}{8}, \varphi = 82,8^\circ \tag{15}$$

$$n = 1, i = 1, \sin (90^\circ - \varphi) = \frac{1}{2}, \varphi = 60^\circ \tag{16}$$

Ці вирази нижче будуть використані для обґрунтування геоконтактного механізму глобального потепління на Землі.

Перепишучи вирази (11) - (12) дещо в іншому вигляді, отримаємо:

$$m = i / (8 \sin \varphi)^{1/2} \tag{17}$$

$$n = i / (8 \sin \varphi)^{1/2} + 1/2 \tag{18}$$

Як слідує звідси, при малих кутах φ порядок m – , n – мод є вельми значним, що пояснює, наприклад, розмаїття структур тонких кілець планет – гігантів – рис.7. В даному випадку при $\sin \varphi \leq 10^{-4}$ порядок внутрішніх гравітаційних хвиль у кільцях планет – гігантів вимірюється десятками – сотнями.

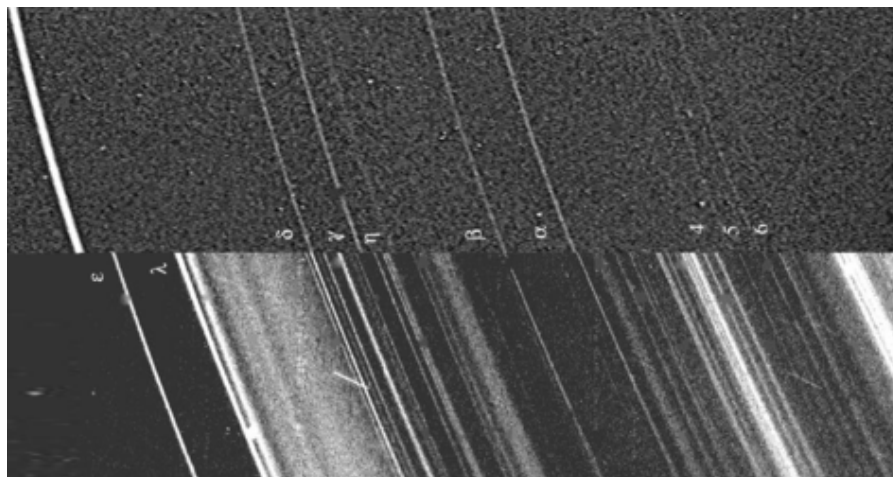


Рис. 7. Складене зображення кілець Сатурна (а) [44] та зображення кілець Урана в прямому та зворотному розсіяному світлі (б) [45].

$h - h$ -моди

В трійках хвиль даного типу близькі періоди мають розглянуті вже пари поверхневих і внутрішніх гравітаційних хвиль, однак при значенні $H = h$, що знімає обмеження на кут φ , однак встановлює зв'язок порядкових індексів мод:

$$i \approx \sqrt{8} \cdot m \approx 2,83 \cdot m \quad (19),$$

$$i \approx \sqrt{8} \cdot (n - 1/2) \approx 2,83 \cdot (n - 1/2) \quad (20).$$

Період $h - h$ -мод в $(\sin \varphi)^{-1/2}$ раз більший за відповідний період $R - R$ -мод, що становить величину:

$$T_0 = 2\pi \cdot (R/g)^{1/2} \quad (21).$$

Дана величина визначається лише радіусом контакту R та напруженістю діючого зовнішнього гравітаційного поля g і може бути використана для калібровки зовнішнього поля за відомим спектром контактно – наведеної космічної турбулентності.

Кільцеві структури, відповідні $h - h$ -модам, розглядалися нами раніше на прикладі Головного поясу астероїдів та поясу Койпера сонячної системи [1]. До космічних структур цього типу слід віднести також вже згадане “кільце в 5кпк” в балджі Чумацького Шляху, а також гігантське кільце Феби навколо Сатурна (рис.8) та пилові кільцеві гравітаційні лінзи поблизу орбіт Венери та Землі (рис.9).

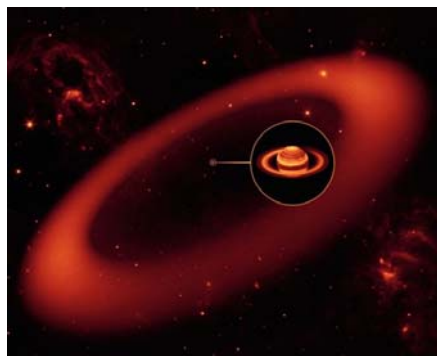


Рис. 8. Кільце Феби навколо Сатурна [46]

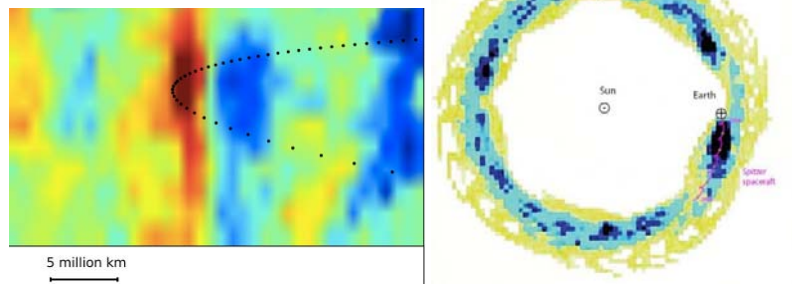


Рис. 9. Кільцеві пилові хмари поблизу орбіт Венери (а) [48] та Землі (б) [49]

Калібровка діючого гравітаційного поля за результатами спектрального аналізу контактно – наведеної космічної турбулентності

Дослідження відомих результатів фур'є та вейвлет-аналізу часових рядів Сонячної активності [29] показують, що для внутрішнього контактного розриву в Сонячному ядрі радіусом $R = 0,1 R_S$ ($R_S = 7 \cdot 10^8$ м – радіус Сонця) [1] за величину T_0 в (21) слід прийняти період ≈ 103 роки – як один із можливих варіантів. В такому випадку діюче значення зовнішнього гравітаційного поля становить:

$$g = 4\pi^2 R / T_0^2 \approx 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2 \quad (22a).$$

Це значення практично співпадає із значенням напруженості галактичного гравітаційного поля поблизу Сонця, вирахованим за уточненим значенням орбітальної швидкості Сонця навколо Галактичного центру $v_S = 254$ км/с на відстані $R_{S-G} \approx 8,33$ кпк від центру [30]:

$$g_G = v_S^2 / R_{S-G} \approx 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2 \quad (22b).$$

Співпадання величин (22a) і (22b), вирахованих незалежно, свідчить про реальність контактного розриву в Сонячному ядрі, попередньо встановленого геліосейсмологічними методами в роботі [31], однак

прийнятого самими авторами за штучний технічний результат (артефакт) [1].

Нескладно провести аналогічну колібровку і для геоконтактного динамо. Наявність розриву у внутрішньому твердому ядрі Землі на відстані $R \approx 0,1R_E$, ($R_E \approx 6,4 \cdot 10^6$ м – радіус Землі) нещодавно встановлена геосейсмологічними методами [32]. Оскільки в даному випадку величина T_0 невідома, то проведемо її оцінку, виходячи з відомих значень напруженостей гравітаційного поля Сонця, Місяця та Галактики поблизу Землі (g_S, g_M, g_G відповідно), що дає:

$$T_0^S = 2\pi \cdot (0,1R_E / g_S)^{1/2} \approx 18 \text{годин} \tag{23}$$

$$T_0^M = 2\pi \cdot (0,1R_E / g_M)^{1/2} \approx 10 \text{днів} \tag{24}$$

$$T_0^G = 2\pi \cdot (0,1R_E / g_G)^{1/2} \approx 9,9 \text{років} \tag{25}$$

Як видно, пряма дія Сонячної та Місячної гравітації на внутрішній контактний розрив в земному ядрі спричиняє лише відносно короткотермінові варіації в динаміці геоконтакту – в порівнянні з галактичним полем. Однак, як буде показано нижче, значно більший вплив на ці варіації спричиняють довгоперіодичні гравітаційні хвилі, згенеровані контактним розривом у Сонячному ядрі, а також Метагалактичні та Надметагалактичні гравітаційні хвилі.

Повертаючись у цьому контексті до отриманих значень (22а)-(23б) діючого галактичного гравітаційного поля, слід зауважити, що це поле не слід ототожнювати з класичними Кеплерівськими (еліптичними) формами руху Сонця навколо Галактичного центру – з огляду на “некеплерову” залежність орбітальної швидкості руху зоряної речовини у Галактичному диску – рис. 10. Отже, у формуванні діючого гравітаційного поля пряму участь беруть контактено-наведені гравітаційні хвилі у диску Галактики (і аж ніяк не чорна матерія, що ввижається авторам найсучасніших космологічних моделей [2-5, 33]). Детальний розгляд цих хвиль проводиться у наступному пункті.

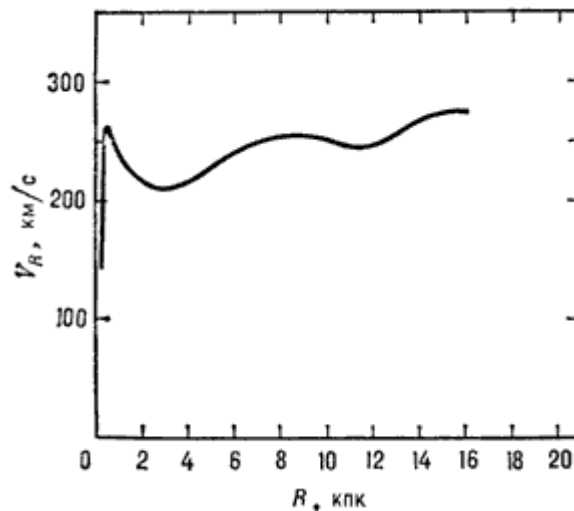


Рис. 10. Радіальна залежність швидкостей руху космічної речовини в диску Галактики [36].

m-n-моди

Найцікавішим з фізичної точки зору та й, напевно, найпоширенішим видом внутрішнього синтезу когерентних космічних форм руху є утворення трійок хвиль, до складу яких входять короткохвильові *m*- та *n*- моди внутрішніх хвиль з близькими періодами. Прирівнюючи вирази (7) і (8) при $H = R$, отримаємо:

$$(\sin \varphi_m)^{1/2} \cdot \frac{m}{i_m} = (\sin \varphi_n)^{1/2} \cdot \frac{n-1/2}{i_n} \tag{26}$$

Тут введені додаткові нижні індекси мод. Як видно, синхронізація цих мод можлива як за рахунок зміни кута φ , так і за рахунок порядкових модових індексів.

Перший приклад такої синхронізації знаходимо в Сонячному ядрі. При характерних значеннях $\sin \varphi_m = 1/8$ ($\varphi_m \approx 7,2^\circ$), $\sin \varphi_n = 1/2$ ($\varphi_n \approx 30^\circ$), що розглядались вище, для *m-n*- мод першого порядку ($m = n = 1$) умова (26) задовольняється при довільних поздовжніх резонаторних індексах $i_n = i_m$. Отже, початок нового сонячного квазідинадесятирічного циклу відзначається появою *n*- моди внутрішніх гравітаційних хвиль на широті контакту близько 30° (рис. 4, 6). Ця мода, що характеризується максимумом контактних напружень, продукує тут локалізовані когерентні структури руху, які досягаючи фотосфери, стають відомими сонячними плямами. В противагу цьому *m*- мода майже нічим явно не проявляє себе на низьких широтах в напівперіод свого домінування в квазідинадесятирічному циклі. За винятком одного – глобального магнітного поля Сонця, яке вона наводить.

Внаслідок конкуренції мод відбувається періодична зміна *m*- та *n*- мод, що супроводжується зміною знаку контактено-наведеної прецесії при незмінному напрямі обертання внутрішнього ядра (та оболонки). Ця зміна знаку прецесії, власне, і є відповідальною за циклічне переполнування глобального магнітного поля Сонця.

Іншим вражаючим космічним проявом *m-n*- мод є генерація спіральних візерунків на дисках галактик. Це явище зазвичай описується несамоузгоченими моделями гідромагнітного динамо та

галактичних хвиль густини [34, 35]. В даному випадку кут ϕ визначається півтовщиною галактичного диску $h = R \cdot \sin \phi$, а обмеження (26) спрощується:

$$\frac{m}{n-1/2} = \frac{i_m}{i_n} \quad (27).$$

Це обмеження приводить до наступного виразу для періодів m - n - мод:

$$T_{m-n}^k = T_0 \cdot (2 \sin \phi)^{1/2} \cdot k^{-1}, \quad k = 1, 2, 3 \dots \quad (28).$$

Головний період при $k = 1$ становить:

$$T_{m-n}^{k=1} = 2\pi \cdot (2h / g)^{1/2} \quad (29).$$

Цей вираз дозволяє отримати важливі фізичні параметри нашої Галактики, виходячи з резонансного характеру радіальної залежності швидкості обертання космічної речовини в Галактичному диску – рис. 10. Відмічений резонансний характер начисто ігнорується у відомих моделях, що базуються на гіпотезах чорної матерії [33]. Між тим, як видно з рис. 10, Чумацький Шлях характеризується трьома радіальними резонансами, що задовольняють умові:

$$T_{0k}(R) / T_{m-n}^{k=1}(R) = Z, \quad Z = 1, 2, 3 \quad (30).$$

Положення Сонця з $R \approx 8,83$ кпк близьке до другого максимуму ($Z = 2$). В даному випадку

$$T_{0k}(R) = 2\pi \cdot (R / g_k)^{1/2} \quad (31)$$

є періодом Кеплерової форми руху Сонця навколо центру Галактики, причому

$$g_k(R) = G \cdot M_G / R^2 \quad (32)$$

являє собою відповідну напруженість Галактичного гравітаційного поля, вираховану за законом всесвітнього тяжіння Ньютона. З виразів (29)-(32) отримуємо оцінку маси Галактики всередині диску радіусом $R = 8,33$ кпк:

$$M_G = \frac{g_G \cdot R_{S-G}^2}{4G} \quad (33).$$

Тут G – стала всесвітнього тяжіння, $g_G = 2,6 \cdot 10^{-10}$ м/с – отримане раніше значення діючого гравітаційного поля (із врахуванням гравітаційних хвиль). Підстановка чисельних значень в (33) дає:

$$M_G (R \leq 8,83 \text{ кпк}) \approx 6,1 \cdot 10^{40} \text{ кг} \approx 3,0 \cdot 10^{10} M_S \quad (34),$$

де $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ кг – маса Сонця. Отримана величина M_G на один - два порядки менша за існуючі на сьогодні оцінки маси нашої Галактики, зроблені на основі моделей, явно переважаних гіпотетичною чорною матерією [13, 30].

Співвідношення (29)–(32) та залежність $v(R)$ (рис. 10) дозволяють вирахувати профіль зовнішнього диску Чумацького Шляху – рис. 11. За межами зовнішнього балджу він добре узгоджується із космічним профілем Галактичного диску – рис. 12. В самому ж балджі, як видно з рис. 11, Галактичний диск охоплює гравітаційним контактом згадане вже “кілець в 5 кпк”, дотикаючись врешті (при $R \approx 0,6$ кпк) до внутрішнього Галактичного балджу [36].

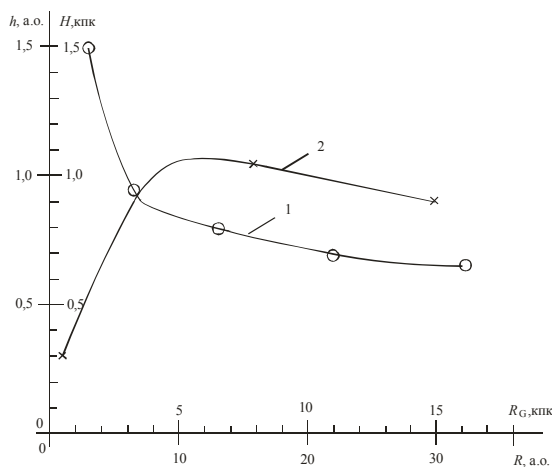


Рис. 11. Профілі зовнішнього (потовщеного) диску Галактики (2) та дискової пилової хмари Сонячної системи (1)

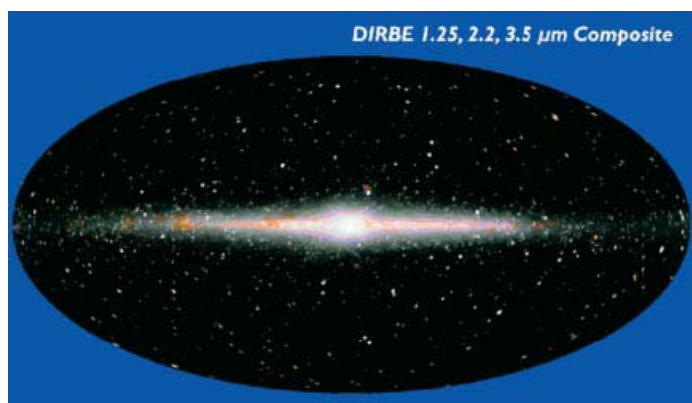


Рис. 12. Космічний профіль Чумацького Шляху [2]

Для порівняння на рис. 11 додатково наведений, розрахований аналогічним чином на основі аналізу вейвлет-спектрів сонячної активності [29] та особливостей радіального розподілу космічного пилу в Сонячній системі [37], профіль дископодібної пилової хмари Сонячної системи. Як видно, на відміну від

зовнішнього диску Галактики, дископодібна пилова хмара різко підіймається у внутрішній області, гравітаційно контактуючи як із Головним поясом астероїдів, так і з Зодіакальною пиловою хмарию.

Такого роду гравітаційні контакти створюють грандіозні космічні структури типу “матрьошки”, в яких зовнішні балджи приховують внутрішні диски, що, в свою чергу, містять внутрішні балджи і т.д. Це вельми заплуते сьгоднішніх титулованих шукачів чорної матерії та темної енергії у Всесвіті, кидаючи їх у містику чорних дір у викривленому просторі – часі.

Метагалактика

Структура Метагалактики може бути встановлена на основі аналізу сучасних космічних даних щодо анізотропії реліктового випромінювання [2, 17]. Однак, ця структура кардинально відрізняється від тієї, що наводять самі автори цих даних. На рис. 13 показані кутовий спектр флуктуацій реліктового випромінювання та відповідний спектр потужностей кутових флуктуацій цього випромінювання, запозичені з Нобелівської лекції [2]. Суцільні криві на рисунку – теоретичні апроксимації авторів в моделі лямбда – CDM. Звертає на себе увагу ніяк не відмічений цією моделлю відносно слабкий пік на рис. 13а при $l \approx 4$, який відповідає кутам $\approx 45^\circ$. Цей пік, з нашої точки зору, прямо свідчить про наявність зовнішнього диску Метагалактики, який, розширюючись до периферії під кутом $\approx 45^\circ$, фактично проектує на оболонку контактну зону у внутрішньому ядрі Метагалактичного центру – згаданий на початку Великий Контакт. Основний пік на рис. 13а при $l \approx 220$, що задає кут $\approx 0,8^\circ$, демонструє наявність внутрішнього тонкого диску Метагалактики, в якому і знаходиться наша Галактика. Значно слабші вторинні максимуми, добре проявлені на рис. 13б, для апроксимації яких “модельєри” λ - CDM використовують більше 20-и підгоночних параметрів [2, 17], в дійсності описується єдиним порядковим індексом $k > 1$ у виразі (28).

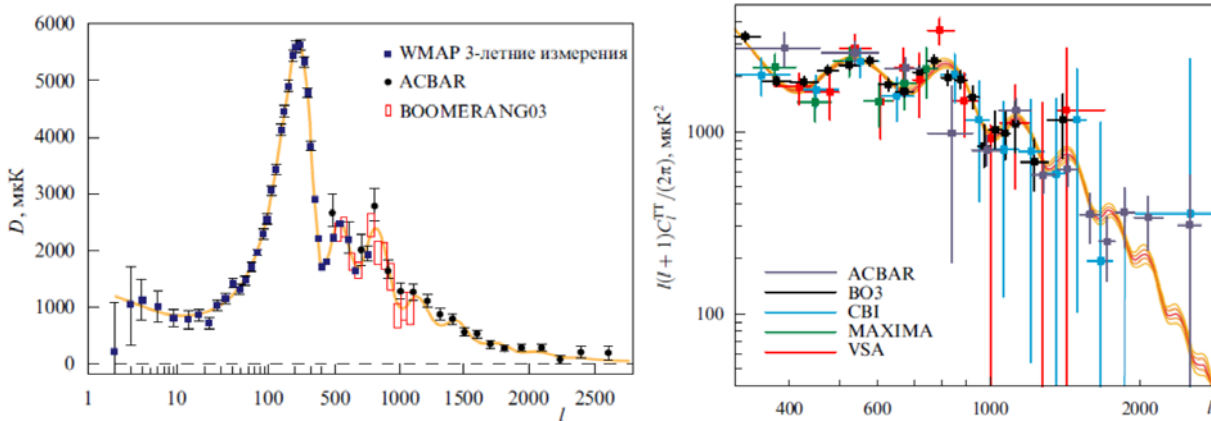


Рис. 13. Кутовий спектр флуктуацій реліктового випромінювання (а) та відповідний спектр потужностей кутових флуктуацій цього випромінювання (б)

Вельми цінним експериментальним результатом роботи [2] є вимірне значення пекулярної швидкості нашої Галактики та її сусідок (Туманності Андромеди та ін.) відносно системи відліку, що задається реліктовим випромінюванням: $v_G \approx 600 \text{ км/с}$ [2]. Це дозволяє за виразом, аналогічним до (22б), оцінити діюче значення напруженості Метагалактичного гравітаційного поля в околі Чумацького шляху:

$$g_{MG} = v_G^2 / R_{G-MG} \tag{35}$$

Для цього, звісно, слід знати відстань R_{G-MG} від Чумацького шляху до центру Метагалактики. Даних про неї на-сьгодні немає. Тому обмежимося у першому наближенні значенням $R_{G-MG} \approx 13,8 \cdot 10^9$ світлових років, до якого фактично сходяться вимірювання червоного зміщення в існуючих космічних моделях. Певна верифікація цього значення буде проведена дещо пізніше. В такому випадку для g_{MG} отримаємо оцінку:

$$g_{MG} \approx 2,8 \cdot 10^{-15} \text{ м/с}^2, \tag{36}$$

що на п'ять порядків величини менше за g_G (22б).

Для оцінки маси Метагалактики потрібно знати порядок Метагалактичного максимуму Z у виразі, аналогічному до (30). Єдиною підказкою тут виступає вищенаведений кутовий параметр $\approx 0,8^\circ$ внутрішнього диску Метагалактики. Для порівняння, тонкий диск Галактики в околі Сонця, як неважко вивести з відомих даних [13], характеризується кутовим параметром $\phi = h / R \approx 0,7^\circ$. Близькість відповідних величин дозволяє зробити припущення про те, що положення Чумацького Шляху в системі Метагалактики подібне до положення Сонця в Галактиці: $Z = 2$. Отже, маса Метагалактики

$$M_{MG}(R \leq 13,8 \cdot 10^9 \text{ св.років}) = \frac{g_{MG} \cdot R_{G-MG}^2}{4G} \approx 1,8 \cdot 10^{47} \text{ кг} \approx 3 \cdot 10^6 M_G \quad (37),$$

де $M_G \approx 3 \cdot 10^{10} M_S$ – отримана раніше маса Галактики (M_S – маса Сонця). Як видно, кількість середньо- статичних галактик в Метагалактиці на чотири порядки величини менша за кількість середньостатичних (по Сонцю) зірок в нашій Галактиці. В даному випадку в ієрархії Сонце – Галактика – Метагалактика згаданий на початку критерій Мельє виконується із наростаючим запасом: від ≈ 4 до $\sim 10^2$ (відношення $[R_k/R_{k-1}] / \sqrt{N_k}$ у виразі (1)). Чим пояснюється цей явно виражений надлишок запасу - і відповідно дефіцит маси у центральній частині Метагалактики? Відповідь для нас очевидна – масивним “пісочним” гало на периферії Метагалактики, яке утворилось під дією “реліктової” ударної хвилі, згенерованої, уже відмічалось, на завершальній стадії гравітаційного колапсу. “Пісочним” воно стало в результаті тривалого Метагалактичного “прибою” контактної – наведених гравітаційних хвиль. Середній розмір частинок гало неважко встановити, порівнявши дві характерні довжини хвилі. По-перше: довжину хвилі реліктового випромінювання, що відповідає за законом зміщення Віна максимуму у спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} \approx 1,1 \text{ мм} \quad (38).$$

Тут $b \approx 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^\circ\text{К}$ – постійна Віна, $T \approx 2,7^\circ\text{К}$ – рівноважна температура реліктового випромінювання [2, 13]. По-друге: резонансну довжину коротких контактної – наведених гравітаційних хвиль для частинки – резонатора радіусом r [1]:

$$\lambda_i = 4\pi r / i \quad (39).$$

Тут i – порядковий “повздожній” модовий індекс [1]. Прирівнюючи (38) і (39), отримаємо:

$$r \approx 0,09 \cdot i, \text{ мм} \quad (40).$$

При характерних значеннях $i \sim 1 \div 10$, як видно, радіус частинок гало становить десятки долі міліметра, що відповідає звичайнісінькому метеороїдному піску.

Пісочне гало, скоріш за все, знаходиться на відстанях від ядра, порівняних із радіусом сфери гравітації Метагалактики R_{MG}^{gr} . Якщо припустити, що наступний за Метагалактичним Надметагалактичний рівень організації когерентного космічного руху характеризується діючим значенням напруженості гравітаційного поля g_{SMG} , меншим, знову ж -таки, на п’ять порядків величини за g_{MG} , тобто

$$g_{SMG} \approx 3 \cdot 10^{-20} \text{ м/с}^2 \quad (41),$$

то отримаємо слідууючу оцінку радіуса сфери гравітації Метагалактики:

$$R_{MG}^{gr} = \left(\frac{G \cdot M_{MG}}{g_{SMG}} \right)^{1/2} \approx 2 \cdot 10^{28} \text{ м} \approx 700 \text{ Гпк} \approx 2 \cdot 10^{12} \text{ св.років} \quad (42).$$

Отже, масштаби Метагалактики вимірюються трильйонами світлових років, а реліктове випромінювання, що знаходиться в термодинамічній рівновазі з пісочним гало, значно старше, ніж прийнято вважати, довіряючи Фрідмановим фантазіям щодо Великого Вибуху [2–5].

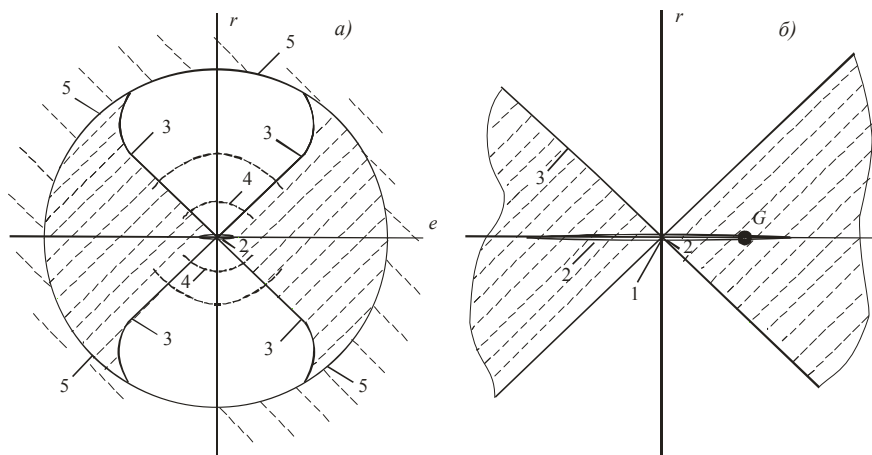


Рис. 14. Гіпотетична структура Метагалактики: 1 – ядро, 2 – внутрішній тонкий диск з балджем, 3 – зовнішній диск, 4 – зовнішні балджи, 5 – “пісочне” гало, G – гіпотетичне розташування Чумацького Шляху

На рис. 14 наведена гіпотетична структура Метагалактики, встановлена на основі проведеного вище аналізу. На загальній схемі (рис.14а) чітко проступає дипольна структура внутрішньої області, яка, власне, і обумовлює переважно дипольну анізотропію реліктового космічного випромінювання [2, 17]. Тонкий Метагалактичний диск разом з нашим Чумацьким Шляхом, як видно, знаходиться у центрі структури, що,

знову ж таки, пояснює слабкість дипольної компоненти реліктового випромінювання – не кажучи вже про вищі порядки (квадруполі, октуполі та ін.) [2,17]. Показані пунктиром зовнішні балджи контактних гравітаційних лінз (контакти вертіння) доповнюють зовнішній диск, що проектує на оболонку вже згадуваний Великий Контакт “прецесійного кочення” у внутрішньому розриві ядра Метагалактики.

На завершення цього пункту проведемо певну верифікацію отриманого значення (36) діючого Метагалактичного гравітаційного поля в околі Чумацького Шляху. Для цього визначимо радіус сфери гравітації ядра нашої Галактики – згаданого вже квазара Sgr A* із врахуванням його маси $M_{qr} \approx 4,3 \cdot 10^6 M_s$ [16]. По аналогії з (42) маємо:

$$R_{qr}^{gr} = \left(\frac{G \cdot M_{qr}}{g_{MG}} \right)^{1/2} \approx 4,5 \cdot 10^{20} \text{ м} \approx 15 \text{ кпк} \quad (43).$$

Це значення, як видно, практично співпадає з радіусом зовнішнього диску Чумацького Шляху. Отже, не дивлячись на те, що в ядрі нашої Галактики зосереджена лише десятитисячна доля загальної маси Галактики, розмір когерентної частини всієї системи обмежений саме радіусом сфери гравітації ядра.

В цьому контексті не можливо не відмітити характерний перерозподіл маси з центру на периферію системи, який ми спостерігаємо, рухаючись вгору ієрархією: Сонячна система – Галактика – Метагалактика. Якщо в нашій Сонячній системі лівова частка загальної маси зосереджена в ядрі (Сонці), то вже в Галактиці ситуація змінюється радикально: оболонка на чотири порядки величини важча за ядро. У Метагалактиці, як уже говорилося, ця тенденція значно підсилюється. Така особливість, звісно, не є випадковою, і має глибоке фізичне підґрунтя, що не зводиться до однієї лишень наростаючої потужності початкового гравітаційного колапсу – при русі вгору космічної ієрархією. Відхід від Кеплерових форм фінітного руху в гравітаційному полі, який ми спостерігаємо вже в Галактиці (рис. 10), обумовлений не видуманою чорною матерією [2–5, 13, 17], а зростаючою роллю когерентності, тобто взаємоузгодженості всіх форм руху в системі достатньо високого космічного рангу(статусу). Це питання варто особливої уваги та окремого обговорення.

Контактне динамо як механізм кліматичних змін та глобального потепління на Землі

Повертаючись на Землю, звернемо тут увагу на вражаючі темпи глобального потепління за останні лишень 5–10 років. На сьогодні геофізика та кліматологія навіть гадки не мають про вельми значний вплив геоконтактного динамо на енергетичний баланс, магнітне поле та клімат Землі. Сам контактний розрив в твердому ядрі Землі відкритий геосейсмологами, як уже відзначалось, лишень торік [32]. В роботі [32] встановлено лиш те, що кристали заліза у внутрішньому та зовнішньому твердотільних “під-ядрах” Землі мають різну просторову орієнтацію. Однак, відносно контактну швидкість руху неважко встановити, аналізуючи рух магнітних полюсів Землі [38], що проектують на її поверхню контактні зони в глибині. На рис.15 наведені відповідні розрахунки відносної швидкості руху $v_{geo/c}$ в контактних зонах внутрішнього твердого ядра Землі, що знаходяться в Північній та в Південній півкулях за останні 115 років. Пунктиром на рис. 15 показана середня (за останні 500 років) швидкість відносного руху в геоконтакті $\langle v_{geo/c} \rangle \approx 70$ мкм/с, яка відповідає відомому західному дрейфу особливостей магнітного поля Землі у приєкваторіальній зоні зі швидкістю $\approx 0,2^\circ$ на рік [13]. Відмітимо вкрай малу величину геоконтактних швидкостей – до 10 мкм/с у мінімумах рис.15. Для порівняння – відносна швидкість руху у міжядерному Сонячному геліоконтакті за нашими підрахунками складає $v_{helio/c} \approx 440$ м/с, тобто на 7 порядків величини вища. В чисто трибологічному аспекті швидкості порядку десятків – сотень мікрон в секунду відповідають низькошвидкісному тертю (low velocity friction), що характеризується нестабільністю залипання – ковзання (stick - slip) [21]. Це геоконтактне залипання – ковзання пояснює цілий ряд важливих явищ – від нечіткої періодичності переполусування глобального магнітного поля Землі до льодовикових періодів, “всесвітніх” потопів та глобальних тектонічних зрушень на протязі історії Землі. В періоди залипання геоконтакту інтенсивність процесів дисипації енстрофії космічної турбулентності в тілі Землі різко знижується, що веде до неминучого зниження середньої температури та встановлення льодовикових періодів. Раптовий перехід в режим ковзання під дією космічних гравітаційних хвиль спричинює різке підймання температури, танення льодовиків і відповідно – глобальний потоп. Останній, як видно з рис.17, відбувся приблизно 10–15 тис. років тому, він алегорично відтворений в Біблії. Середній (в даному часовому масштабі) період між різкими глобальними потепліннями на Землі складає 100–120 тис. років (рис. 17). Цей період чітко корелює з характерними періодами основної маси довгоперіодичних комет в Сонячній системі [30], що зазвичай відносять на рахунок гіпотетичної Хмари Оорта [30]. Насправді, відмічена кореляція пов’язана з генерацією когерентних гравітаційних структур космічного руху в Сонячному геліоконтакті.

Як видно з рис. 15, на початку 20-го століття швидкість відносного руху у геоконтактах була значно нижчою за середню. Це пояснює початковий етап пониження дипольного моменту глобального магнітного поля Землі на рис. 16. Однак, загальне зниження цього моменту на протязі всього 20 століття пояснюється кутовим “розходженням” двох геоконтактів, що досягло максимуму в даний час – рис.16. Північний контакт врешті досяг широти $86,3^\circ$, вельми близької до відповідного значення для m – моди контактної – наведених гравітаційних хвиль(15). Південний контакт на широті $64,3^\circ$ – відповідного значення (16) для n – моди цих хвиль.

Глибокий та неупереджений аналіз планетарного та Сонячного магнетизму, проведений вже вельми

давно в роботі [39], дійшов двох важливих висновків: 1) теорія гідромагнітного динамо є неадекватною для пояснення магнетизму Сонця та планет, 2) магнітне поле Сонця та планет не є дипольним, квадрупольним, чи – то n – польним. На жаль, ці висновки чекали свого підтвердження півстоліття.

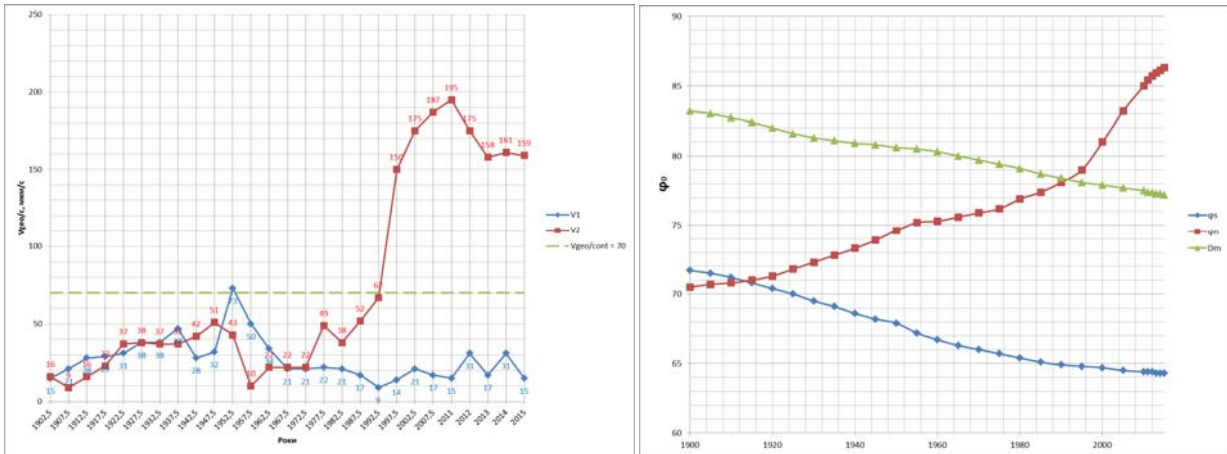


Рис. 15. Часові залежності відносної швидкості руху в зонах контактного розриву твердого ядра Землі, що знаходяться в Південній (1) та в Північній (2) півкулях

Рис. 16. Часові залежності широтного розташування контактних зон у внутрішньому розриві твердого ядра Землі, що знаходяться у Південній (1) та Північній (2) півкулях, а також відповідна часова залежність дипольного моменту геомагнітного поля (3) (в одиницях $10^{21} \text{ A} \cdot \text{m}^2$)

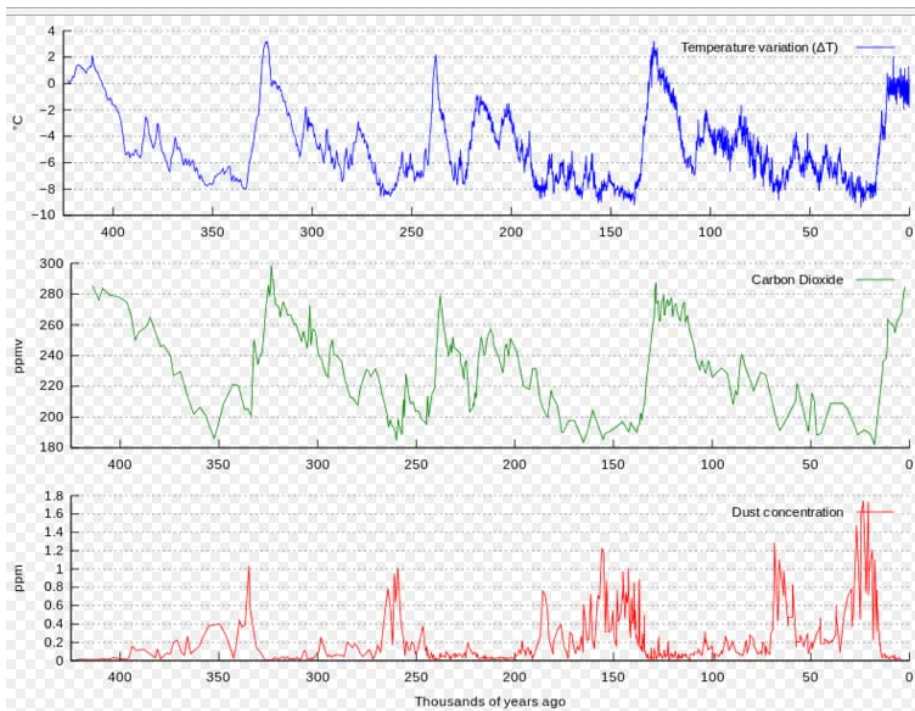


Рис. 17. Коливання температури (синій) та вмісту вуглекислого газу (зелений) і пилу (червоний) за останні 400 тисяч років за даними аналізу льодового ядра на станції «Восток» в Антарктиді [40]

Як видно з рис.15, пікове значення відносної швидкості руху у північному геоконтакті на – сьогодні вже пройдено – відповідний максимум припав на 2010-2011 рр. Отже з великою ймовірністю криві 1 та 2 на рис.15 в подальшому будуть зближуватись, рухаючись з обох сторін до середнього значення, показаного пунктиром. Це зближення фактично означатиме закінчення нетривалого періоду аномального потепління в сучасній історії Землі.

Якщо заглибитись в цю історію на декілька мільйонів років назад (рис.18), то неважко помітити виділений період переполусування глобального магнітного поля Землі ≈ 1 млн років. Цей період є середньостатистичним на значно більших проміжках часу [13]. Значення цього періоду дозволяє провести певну верифікацію отриманого вище значення (41) напруженості діючого Надметагалактичного гравітаційного поля поблизу Землі. Підстановка (41) в (21) при радіусі геоконтакту $R_{\text{geo/c}} \approx 6,4 \cdot 10^5 \text{ м}$ приводить до періоду контактної – наведених гравітаційних хвиль саме в ≈ 1 млн. років. Друга незалежна верифікація (41) відповідає вже Сонячному геліоконтакту. При $R_{\text{helio/c}} \approx 7 \cdot 10^7 \text{ м}$ аналогічна підстановка

приводить до значення періоду хвиль ≈ 10 млн. років. “Відгуком” Надметagalacticного гравітаційного поля на периферії Сонячної системи є дві відомі на – сьогодні комети з рекордними періодами: комета Делавана з періодом ≈ 24 млн. років та комета Лулінь з періодом $\approx 19,5$ млн років [30].

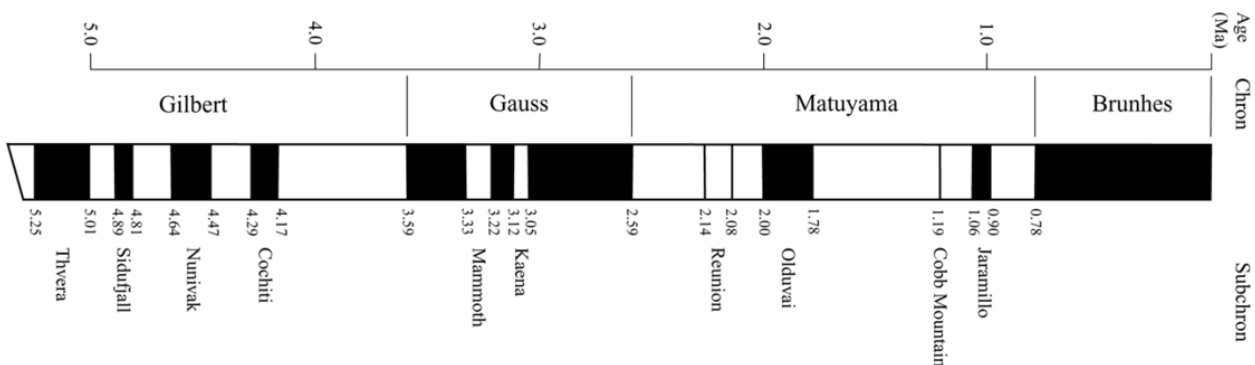


Рис. 18. Інверсії геомагнітного поля за останні 5 млн років: чорним – періоди з нинішньою полярністю, білим – з протилежною [47]

Більш тривалі періоди варіацій та життєві цикли на Землі порядку десятків – перших сотень мільйонів років [13, 40] пов’язані з проходженням Сонячною системою спіральних візерунків у Галактичному диску, сформованих контактено – наведеними гравітаційними хвилями. Всі розмови про виділеність положення Сонця у т.з. зоні коротації (corotation) [34, 35] позбавлені змісту в зв’язку з неадекватністю відомих несамоузгоджених моделей галактичних хвиль густини [34, 35]. Періоди контактено – наведених гравітаційних хвиль, розраховані за формулою (29), складають ≈ 200 млн років та ≈ 60 млн років відповідно для зовнішнього (потовщеного) та внутрішнього (плаского) диску Галактики в околі Сонця. Ці розрахунки відповідають напруженості діючого Галактичного гравітаційного поля. Для Метагалактичного поля відповідні періоди вимірюються вже мільярдами років, що втрачає зміст з огляду на відносно “короткий вік” нашої Сонячної системи.



Рис. 19. Візуалізація руху дзеркального диску, запущеного “з ребра” шліфованою площиною стола (на завершальній стадії руху)

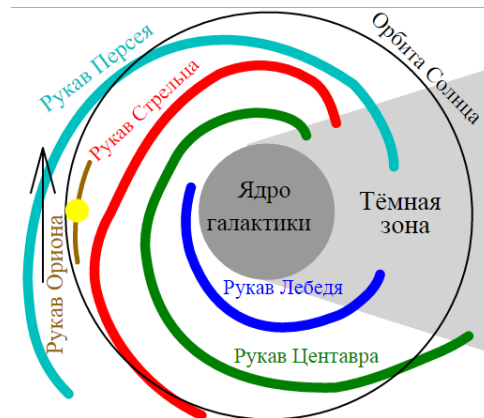


Рис. 20. Спіральна структура Чумацького Шляху. Положення Сонячної системи показане жовтим кружком [30]

Інтерференція гравітаційних хвиль у кільцевому резонаторі Галактичного диску формує вельми стійку картину спіральних візерунків у Абсолютному просторі, через яку вимушено проходять всі без виключення елементи космічної речовини у Диску Галактики – і Сонячна система в тому числі. На рис.19 для технічної ілюстрації такого роду процесів наведена візуалізація форм руху зайчика лазерного випромінювання, відбитого від поверхні дзеркального диску, запущеного “з ребра” шліфованою площиною стола – на завершальному етапі руху. Візуалізація зроблена методом цифрової відеозйомки з послідовним суміщенням кадрів. Як видно, спостерігається чітке розділення поля руху диска на дві приблизно рівних половини, що відповідає вже розглянутій комбінації $m - n - \text{мод}$. Просторова половина $n - \text{мод}$ характеризується “ламаністю” траєкторії руху зайчика, яка виявляє ударну контакту взаємодію при $i_n \approx 6$ у виразах (26)–(27). Як видно, когерентність руху зберігається, принаймні, на протязі декількох прецесійних обертів диску. Для порівняння на рис.20 наведена схема спіральних візерунків Чумацького Шляху [30]. Неважко помітити, що Сонце зараз знаходиться саме на тій просторовій половині візерунку, яка відповідає $n - \text{мод}$. Про це свідчить, наприклад, “деформований вигляд” гілки Стрельця. Отже, найближчі принаймні 50 мільйонів років Земля у повній мірі відчуватиме на собі рівень динамічних гравітаційно – контактних напружень у Галактичному диску, що, звичайно, не додає нам оптимізму.

Закручена картина спіральних візерунків, з нашого погляду, пояснюється присутністю Кеплерових

форм руху космічної речовини – в додаток до вищенаведених $m - n$ – мод руху. Про це також свідчить наявність квазидвохсотлітнього циклу в часових рядах сонячної активності [29,41]. У внутрішніх балджах на дисках галактик Кеплерові форми руху обумовлюють значно більш виражений периферійний спад швидкостей руху космічної речовини. Одночасна присутність тут резонансних контактно – наведених форм руху, що обумовлює немонотонний характер радіальної залежності швидкостей руху, звичайно, ніяк не пояснюється недолугими шукачами чорної матерії у Всесвіті [33].

Висновки

Таким чином, проведений аналіз підтверджує запропоновану концепцію когерентної гравітації та дію контактного динамо у планетарному, зоряному, галактичному, метагалактичному та надметагалактичному масштабах.

Література

1. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного і галактичного магнетизму / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2015. – Вип. 5(229). – С. 106–118
2. Смут Дж.Ф. Анизотропия реликтового излучения: открытие и научное значение : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2006 г. / Дж.Ф. Смут // Успехи физических наук. – 2007. – Т. 177, № 12. – С. 1294–1317.
3. Рисс А.Дж. Мой путь к ускоряющейся Вселенной : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 г. / А.Дж. Рисс // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183. – № 10. – С. 1090–1098.
4. Перлмуттер С. Измерение ускорения космического расширения по сверхновым : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 г. / С. Перлмуттер // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183. – № 10. – С. 1060–1077.
5. Шмидт Б.П. Ускоренное расширение Вселенной по наблюдениям далеких сверхновых : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 г. / Б.П. Шмидт // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183, № 10. С. 1078–1089.
6. Labini F.S., Baryshev Yu.N. Testing the Copernican and Cosmological Principles in the local universe with galaxy surveys [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://jhep.sissa.it/JOURNAL/JHEP3.tar.gz>
7. Longo M.J. Detection of a dipole in the handedness of spiral galaxies with redshifts $z \sim 0.04$ // Physics Letters B. – 2011, № 699, 224–229.
8. Гравитационный парадокс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
9. Фотометрический парадокс (парадокс Ольберса) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
10. Ламберт, Иоганн Генрих [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
11. Шарлье, Карл [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
12. Паули В. Теория относительности / Паули В. – М. : Наука, 1991. – 328 с.
13. Физическая энциклопедия : в 5 томах / под ред А.М.Прохорова. – М. : Большая российская энциклопедия, 1999. – 760 с.
14. Abbott B.P. et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger // Ph. Review Letters. – 2016, v. 116, № 061102, 1–16.
15. Sgr A* (Стрелец A*) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.astronet.ru/db/msg/1195170>
16. Gillessen S. et al. Monitoring stellar orbits around the massive black hole in the galactic center // The Astrophysical J. – 2009, № 692, 1075–1109.
17. Докучаев В.И. Физическая лаборатория в центре Галактики / В.И. Докучаев, Ю.Н. Ерошенко // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185. – № 8. – С. 829–743.
18. Зельдович Я.Б. Релятивистская астрофизика / Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. // Успехи физических наук. – 1964. – Т. LXXXIV, вып. 3. – С. 377–417.
19. Hawking S.W. Black hole explosions? // Nature. – 1974, № 248, 30–31.
20. Стрелец A* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
21. Заспа Ю.П. Когерентная трибодинамика / Ю.П. Заспа // Трение и износ. – 2012. – Т. 33, № 6. – С. 659–674.
22. 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.
23. Заспа Ю.П. Каскадный транспорт енергії збурень в системах динамічної контактної взаємодії / Ю.П. Заспа, С.Г. Костогриз // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1 (221). – С. 47–52.
24. Рабинович М.И. Введение в теорию колебаний и волн / Рабинович М.И., Тубецков Д.И. – М. : Наука, 1984. – 563 с.
25. Данилов С.Д. Квазидвумерная турбулентность / Данилов С.Д., Гуларий Д. // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170. – № 9. – С. 922–968.

26. Ajello M. et. al. The cosmic evolution of Fermi BL Lacertae Objects // *The Astrophysical J.* – 2014, № 780:73, 24 p.
27. Padovani P. et. al. A simplified view of blazars: the neutrino background // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2015, № 000, 1–13.
28. De Pontieu B. et. al. A Tale of Two Spicules: The Impact of Spicules on the Magnetic Chromosphere // *Publ. Astron. Soc. Japan.* – 2007, v.59, S. 655–662.
29. Кононович Э.В. Частотно-временной анализ рядов солнечной активности / Кононович Э.В., Миронова И.В., Батулин В.А. // Исследовано в России : электронный научный журнал. – 2006. – Режим доступа : <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/182.pdf>
30. Солнечная система [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki>
31. Garcia R.A. et. al. Tracking solar gravity modes: The dynamics of solar core // *Science.* – 2007, v.316, 1591–1593.
32. 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.
33. Засов А.В. Оценка масс “темной” материи в галактиках по измерениям скоростей “светлой” / Засов А.В. // *Кинематика и физика небесных тел.* – 2010. – Т. 26, № 4. – С. 7–10.
34. Марочник Л.С. Проблема спиральной структуры галактик / Марочник Л.С., Сучков А.А. // *Успехи физических наук.* – 1974. – Т. 112, вып. 2. – С. 275–308.
35. Ефремов Ю.Н. Современные представления о природе спиральной структуры галактик / Ефремов Ю.Н., Корчагин В.И., Марочник Л.С., Сучков А.А. // *Успехи физических наук.* – 1989. – Т. 157, вып. 4. – С. 599–629.
36. Галактика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.astronet.ru/db/msg/eid/FK86/galaxy>
37. Landgraf M., Liou J. – C., Zook H.A., Grun E. Origins of Solar system dust beyond Yupiter // *The Astronomical J.* – 2002, № 123, 2857–2861.
38. Magnetic North, Geomagnetic and Magnetic Poles [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>
39. Северный А.Б. Магнитные поля Солнца и звезд // *Успехи физических наук.* – 1966. – Т. 88, вып.1. – С. 3–50.
40. Ледниковый период [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Ледниковый_период
41. Солнечная активность [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_активность
42. Synoptic magnetogram of the radial component of the solar surface magnetic field [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://solarscience.msfc.nasa.gov/images/magbfly.jpg>
43. Спикулы: потоки на Солнце [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.astronet.ru/db/msg/1198868>
44. Кольца Сатурна [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
45. Кольца Урана [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
46. Гигантское кольцо Сатурна [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://osiktakan.ru/saturn/sat_dust_ring.html
47. Инверсии магнитного поля Земли [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
48. Астрономы нашли пылевое кольцо вокруг Солнца [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.lenta.ru/news/2013/11/25/venus/>
49. Sun's dust ring could help find exo-earths. URL: <http://www.wired.com/2010/07/dust-ring-exo-earth/>

Рецензія/Peer review : 18.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Статтю прорецензовано редколлегією

УДК 004.491.2

К.Ю. БОБРОВНИКОВА
Хмельницький національний університет

МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЯВЛЕННЯ БОТ-МЕРЕЖ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ DNS-ТРАФІКА

Розроблено програмне забезпечення інформаційної технології виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка, яке дозволяє виконувати наступні задачі: виявлення бот-мереж на основі їх групової активності в DNS-трафіку; виявлення бот-мереж, які застосовують технології ухилення від виявлення на основі DNS, на базі пасивного моніторингу DNS-трафіка та активного DNS-зондування; локалізація інфікованих хостів мережі. Застосування розробленого програмного забезпечення надає можливість виявляти інфіковані ботами хости мережі з високою ефективністю.

Ключові слова: бот-мережа, DNS-трафік, групова активність в DNS-трафіку, технології ухилення бот-мереж.

K. Y. BOBROVNIKOVA
Khmelnytsky National University

THE METHODS AND THE SOFTWARE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR BOTNETS DETECTION BASED ON DNS-TRAFFIC ANALYSIS

The software of information technology for botnets detection that based on an analysis of the DNS traffic was developed. It allows to perform the following tasks: botnets detection based on their group activity in DNS traffic; detection of botnets that use DNS-based evasion techniques based on passive DNS monitoring and active DNS probing; localization of infected hosts in the network. Usage of the developed software makes it possible to detect infected hosts by bots of the botnets with high efficiency.

Keywords: botnet, DNS-traffic, group activity in DNS-traffic, botnet's evasion techniques.

Вступ

На сьогоднішній день бот-мережі є глобальною загрозою інтернет-безпеці. Бот-мережа – це система контролю над зараженими комп'ютерними системами (ботами), яка характеризується динамічною географічно розподіленою структурою та можливістю анонімного керування інфікованими хостами незалежно від їх географічного розташування. Бот-мережі використовуються для здійснення DDoS-атак (розподілених атак типу «відмова в обслуговуванні»), поширення шкідливого програмного забезпечення, викрадення конфіденційних даних, здійснення корпоративного шпionажу, організації анонімних проксі-серверів, організації фішингу, застосування засобів нав'язування реклами, здійснення клік-шахрайств (Click Fraudulence), поширення спаму, надання сервісу віддалених машин, використання інфікованих комп'ютерів для зберігання нелегального матеріалу тощо.

Переважає більшість бот-мереж для керування інфікованими хостами використовує DNS [1]. Висока інформативність та доступність DNS-трафіка надають широкий спектр можливостей для виявлення бот-мереж на основі дослідження DNS-трафіка. Незначні обсяги DNS-трафіка в порівнянні із загальним трафіком мережі призводять до зменшення потреби в обсягах обчислювальних ресурсів, необхідних для аналізу.

Постановка задачі

В [2] було розроблено інформаційну технологію (ІТ) виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка, яка усуває недоліки відомих ІТ. З метою ефективної організації процесу виявлення бот-мереж в корпоративних мережах постає задача розробки програмного забезпечення (ПЗ) інформаційної технології виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка.

Методи ІТ виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка

Для організації та підвищення ефективності процесу виявлення бот-мереж в мережах було розроблено програмне забезпечення, що реалізує ІТ виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка [2]. Інформаційна технологія побудована на базі двох методів виявлення бот-мереж: методу виявлення бот-мереж на основі їх групової активності в DNS-трафіку [3] та методу виявлення бот-мереж, які застосовують технології ухилення від виявлення на основі DNS [4].

Групова активність ботів в DNS-трафіку є характерною властивістю бот-мереж, що проявляється в зосереджених в невеликому проміжку часу групових DNS-запитах хостів (тобто синхронних DNS-запитах) під час спроб доступу до командно-контрольних серверів (C&C-серверів) бот-мереж, їх міграціях, виконанні команд або скачуванні оновлень шкідливого програмного забезпечення.

Метод враховує особливості поведінки інфікованих груп хостів, характерні для багатьох видів бот-

мереж: групове ігнорування TTL-періоду DNS, тобто очищення групами хостів локальних кешів DNS та здійснення повторних DNS-запитів щодо доменного імені до завершення TTL-періоду; здійснення DNS-запитів, використовуючи нелокальні DNS-сервери. Метод також відслідковує підвищену кількість порожніх DNS-відповідей з кодом помилки NXDOMAIN (доменне ім'я не існує).

Метод виявлення бот-мереж на основі їх групової активності в DNS-трафіку складається з наступних кроків [3]: (1) збір вхідного DNS-трафіка; (2) співставлення з «білим» та «чорним» списками доменних імен; (3) виявлення груп хостів, які ігнорують TTL-період; (4) побудова вектора щільності розподілу DNS-запитів в часі для перевірки синхронності запитів; (5) побудова матриці спостереження для збору та аналізу вхідного DNS-трафіка; (6) виявлення групової активності шляхом аналізу групових запитів щодо одного й того самого доменного імені; (7) побудова нижньотрикутної матриці мір Браун-Бланке для порівняння груп; (8) формування векторів ознак для пар групових запитів щодо різних доменних імен; (9) аналіз векторів ознак з метою виявлення інфікованих хостів.

Метод виявлення бот-мереж, які застосовують технології ухилення від виявлення на основі DNS, спрямований на виявлення таких технологій ухилення, як періодична зміна IP-відображення для шкідливого домена (cycling of IP mapping), технологія «потік доменів» («domain flux»), технологія «швидкозмінних» мереж (fast-flux service network) та DNS-тунелювання (DNS-tunneling) [4–8]. Метод заснований на кластерному аналізі векторів ознак, вилучених з корисного навантаження DNS-повідомлень, отриманих на основі пасивного моніторингу вхідного DNS-трафіка мережі, та залучає активне DNS-зондування в разі необхідності усунення невизначеності частини результатів кластеризації.

Метод виявлення бот-мереж, які застосовують технології ухилення від виявлення на основі DNS, складається з наступних кроків [4]: (1) збір вхідного DNS-трафіка мережі; (2) аналіз полів TTL вхідних DNS-повідомлень щодо певного доменного імені; (3) вилучення ознак з вхідних DNS-повідомлень щодо певного доменного імені та побудова вектора ознак; (4) побудова матриці даних на основі векторів ознак; (5) здійснення нечіткої кластеризації з частковим навчанням з метою виявлення запитів, які можуть свідчити про функціонування ботів, що належать до бот-мереж, які використовують технології ухилення від виявлення на основі DNS; (6) здійснення активного DNS-зондування з метою усунення невизначеності частини результатів кластеризації; (7) локалізація хостів, інфікованих ботами, та блокування дій ботів.

В основі часткового навчання кластеризатора лежать знання про ознаки, які вказують на використання технологій ухилення від виявлення бот-мереж на основі DNS.

На рис. 1 надано схему застосування розробленої ІТ виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка. На схемі KC_1 - KC_4 позначено комп'ютерні системи мережі, інфіковані ботами бот-мережі, що здійснюють групову активність в DNS-трафіку, KC_5 – комп'ютерна система, інфікована ботом бот-мережі, що застосовує технології ухилення від виявлення на основі DNS, KC_6 - KC_n – неінфіковані комп'ютерні системи. Програмне забезпечення, що реалізує ІТ виявлення бот-мереж, дозволяє виконувати наступні задачі (рис. 1): виявлення бот-мереж на основі їх групової активності в DNS-трафіку; виявлення бот-мереж, які застосовують технології ухилення від виявлення на основі DNS, на базі пасивного моніторингу DNS-трафіка та активного DNS-зондування; локалізація інфікованих ботами комп'ютерних систем мережі.

Локалізація інфікованих комп'ютерних систем здійснюється за допомогою ведення файлів журналювання, в які заносяться MAC-адреси хостів, що ініціювали DNS-запити, і запитані ними доменні імена.

Програмне забезпечення ІТ виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка

При розробці програмного забезпечення було використано мову програмування C++. В якості середовища розробки було обрано Microsoft Visual Studio. В програмній реалізації було використано модуль з пакету Fuzzy Logic Toolbox, що входить до складу пакету прикладних програм для розв'язання задач технічних обчислень Matlab.

Принцип функціонування системи може бути описаний наступним чином. Вхідний DNS-трафік мережі збирається за допомогою множини мережних давачів, підключених до дзеркалюючих портів комутаторів. В якості мережних давачів застосовуються вузли з встановленою на них утилітою tcpdump або Wireshark. Файли із зібраним вхідним DNS-трафіком надходять в систему, розшифровуються та аналізуються.

Головне вікно програми містить 4 вкладки: Settings (налаштування), Lists Management (керування списками), Analysis (Аналіз), Help (довідка). Інтерфейс розробленого ПЗ відображено на рис. 3-5. Вкладка Settings надає можливість адміністратору мережі здійснити налаштування системи. Блок Mode дозволяє встановити рівні основних параметрів [3, 4], які використовуються системою. Кожен параметр має три рівні: Low (мінімальний), Medium (оптимальний), High (посилений). Блок DNS-servers надає можливість вказати IP-адреси локальних DNS-серверів мережі. Також передбачена можливість ввімкнення або вимкнення функції здійснення активного DNS-зондування з метою уточнення результатів діагностування.

Вкладка Analysis надає можливість завантажити файл з вхідними даними з метою проведення його аналізу. Блок Result відображає результати роботи ПЗ, а саме: MAC-адреси інфікованих та підозрілих хостів мережі, а також додаткову інформацію, яка містить підстави, на яких прийнято відповідне рішення щодо інфікованості або підозрілості хоста (виявлення групової активності та/або виявлення застосування технологій ухилення бот-мереж на основі DNS). Також забезпечена можливість формування, перегляду та

друку звіту з результатами діагностування мережі.

Вкладка Lists Management надає можливість редагування бази даних, що містить «білий» список відомих легітимних доменних імен, «чорний» список відомих доменних імен бот-мереж, «сірий» список доменних імен бот-мереж, виявлених із застосуванням розробленого ПЗ.

Вкладка Help дозволяє отримати довідкову інформацію стосовно розробленого ПЗ.

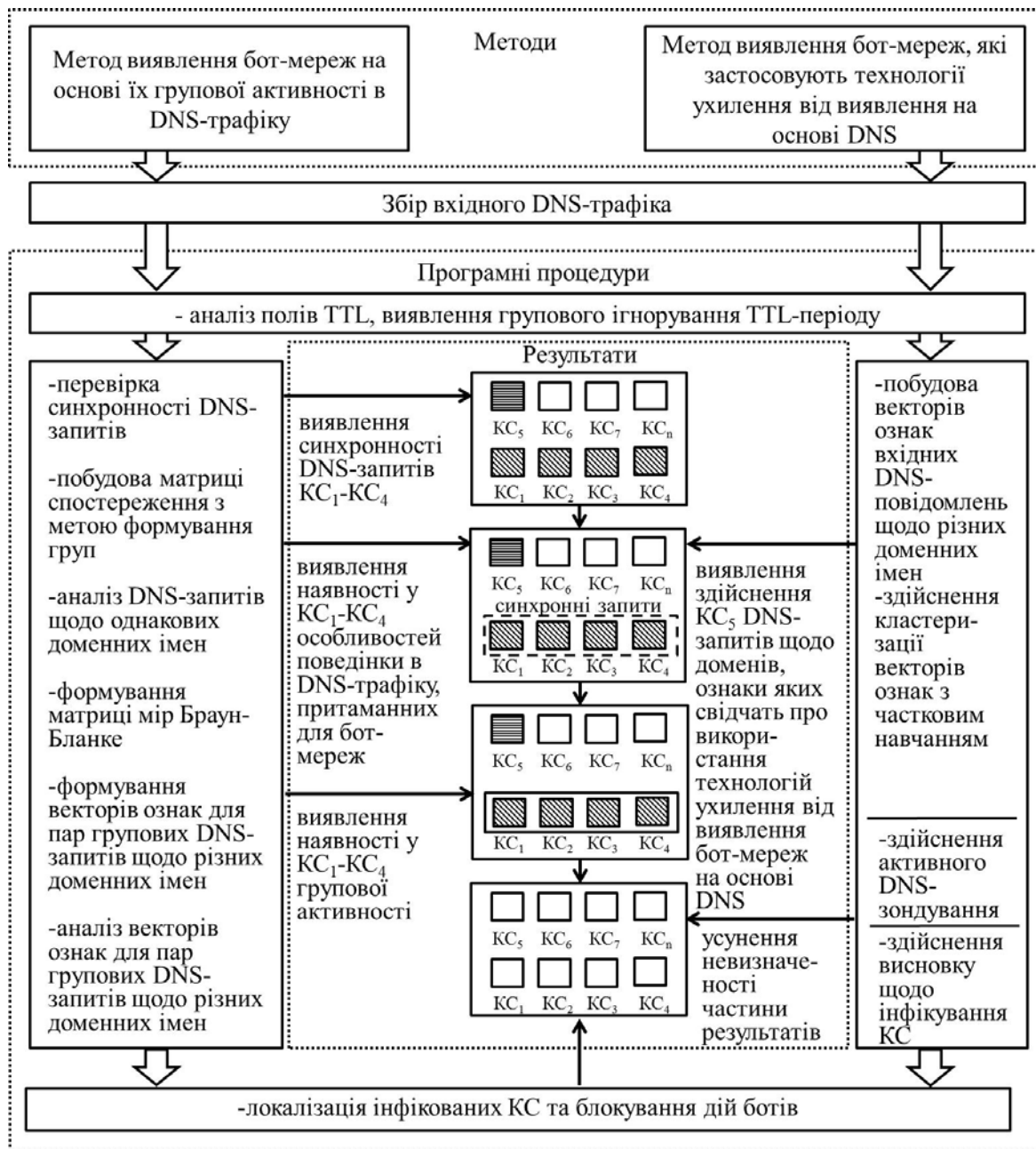


Рис. 1. Схема застосування ІТ виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка

Експерименти

З метою демонстрації результатів роботи розробленого ПЗ було створено множину спеціального програмного забезпечення, яке мало властивості ботів бот-мереж з централізованою архітектурою. Множина ботів за функціональними властивостями була пропорційно розподілена на групи, кожна з яких відповідала одній з чотирьох технологій ухилення бот-мереж – «потік доменів», «швидкозмінні» мережі, DNS-тунелювання, періодична зміна IP-відображення.

На період проведення експериментів з метою імітації С&С-серверів бот-мереж було зареєстровано множину доменних імен, які розглядалися як шкідливі. С&С-сервери мали можливість імітувати застосування технологій ухилення на основі DNS (здійснювали такі дії, як періодична зміна IP-відображення, зміна доменних імен, циклічна зміна А-записів та NS-записів DNS для доменного імені за алгоритмом round robin, передача трафіка командування та контролю за допомогою застосування DNS-тунелювання тощо). В залежності від функціональності створені боти здійснювали відповідні типи DNS-

запитів щодо шкідливих доменних імен, які не були попередньо відомі та не використовувались для навчання. Певна частина групових DNS-запитів ботів була синхронною. Створеними ботами було інфіковано мережу з 100 хостів. Кожна бот-мережа відтворювала різні сценарії здійснення DNS-запитів в різний час. З метою імітації активності користувачів хости мережі також здійснювали DNS-запити щодо легітимних ресурсів.

Експеримент тривав 24 години, протягом яких шляхом застосування розробленого ПЗ було виявлено, проаналізовано та класифіковано 3075 DNS-відповідей. Візуалізація результатів збору відного DNS-трафіка мережі та результати роботи розробленого програмного забезпечення відображені на рис. 2–5.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	286	Standard query response 0xc0ed A www.o-neon.xyz A 5.1.80.235 NS dns5.registrar-servers.com NS dns2.registrar-se...
2	0.037976	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	142	Standard query response 0x9720 A wot-big.ru A 37.140.192.171 NS ns1.hosting.reg.ru NS ns2.hosting.reg.ru
3	0.060694	78.152.160.5	78.152.183.53	DNS	187	Standard query response 0x99f5 No such name A teredo.ipv6.microsoft.com CNAME teredo.ipv6.microsoft.com.nsatc.n...
4	0.159992	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	142	Standard query response 0xe07d A wot-big.ru A 37.140.192.171 NS ns2.hosting.reg.ru NS ns1.hosting.reg.ru
5	0.757978	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	286	Standard query response 0xad03 A www.o-neon.xyz A 5.1.80.235 NS dns5.registrar-servers.com NS dns1.registrar-se...
6	0.865012	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	286	Standard query response 0xa982 A www.o-neon.xyz A 5.1.80.235 NS dns1.registrar-servers.com NS dns2.registrar-se...
7	1.002774	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	142	Standard query response 0x251a A wot-big.ru A 37.140.192.171 NS ns2.hosting.reg.ru NS ns1.hosting.reg.ru
8	1.084216	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	142	Standard query response 0x20e0 A wot-big.ru A 37.140.192.171 NS ns1.hosting.reg.ru NS ns2.hosting.reg.ru
9	1.096985	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	286	Standard query response 0xad03 A www.o-neon.xyz A 5.1.80.235 NS dns2.registrar-servers.com NS dns4.registrar-se...
10	1.145862	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	142	Standard query response 0xe31d A wot-big.ru A 37.140.192.171 NS ns2.hosting.reg.ru NS ns1.hosting.reg.ru
11	1.241042	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	286	Standard query response 0xc8c8 A www.o-neon.xyz A 5.1.80.235 NS dns4.registrar-servers.com NS dns3.registrar-se...
12	1.547965	78.152.160.5	78.152.183.45	DNS	286	Standard query response 0x985e A www.o-neon.xyz A 5.1.80.235 NS dns5.registrar-servers.com NS dns2.registrar-se...

Рис. 2. Візуалізація результатів збору відного DNS-трафіка мережі

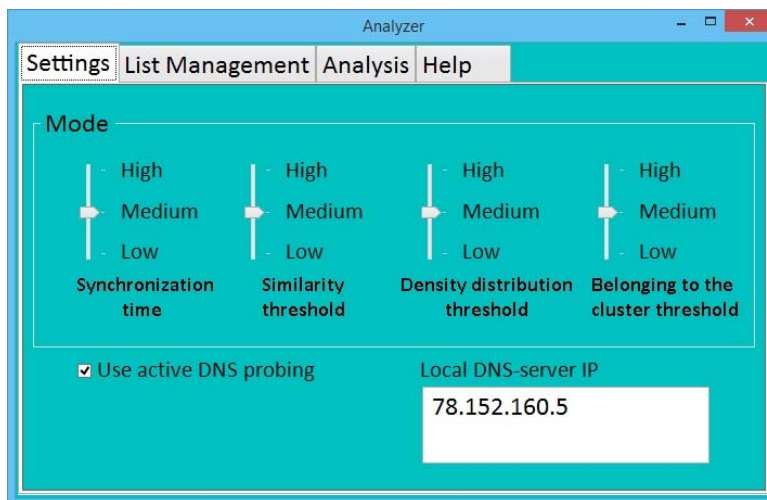


Рис. 3. Налаштування параметрів системи

MAC-address	Status	Details
00-00-f8-21-7b-5a	infected	group activity, domain flax
00-08-5f-6b-ea-90	infected	group activity, fast flax
00-10-4b-41-e4-75	infected	group activity, fast flax
00-60-08-75-0d-55	infected	DNS - tunneling
00-60-97-4a-bf-4c	infected	group activity, fast flax
00-a0-c7-d2-21-f4	infected	cycling of IP mapping
00-a0-d1-02-a2-cf	infected	group activity, DNS - tunneling

Рис. 4. Результати аналізу відного DNS-трафіка мережі

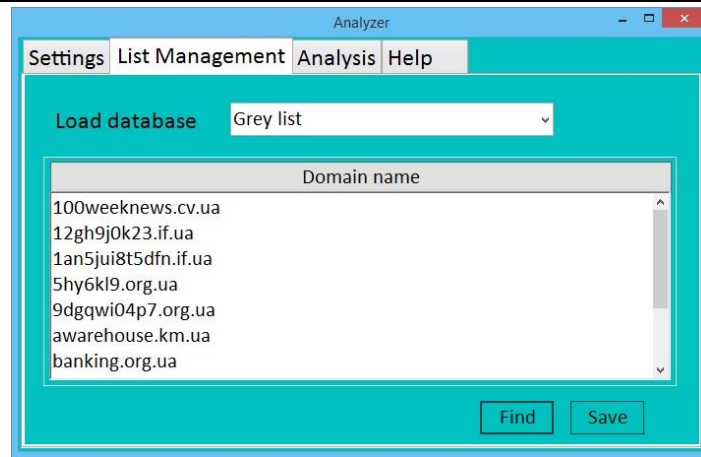


Рис. 5. «Сірий» список виявлених шкідливих доменних імен

В табл. 1 представлено кількість виявлених DNS-відповідей щодо шкідливих доменів. Таким чином, результати застосування запропонованого ПЗ демонструють здатність виявлення бот-мереж на рівні до 96%, в той час як рівень хибних спрацювань становить близько 4 %.

Таблиця 1

Результати експериментів: кількість DNS-запитів, здійснених ботами, виявлені DNS-відповіді ботів та хибні спрацювання

Назва технології ухилення	Кількість DNS-запитів, здійснених ботами / з них групові	Виявлені DNS-відповіді / з них на групові DNS-запити	Хибні спрацювання, %
Періодична зміна IP-відображення	481 / 321	476 / 321	1
«Потік доменів»	1796 / 1520	1753 / 1509	1
«Швидкозмінні» мережі	615 / 429	558 / 421	2
DNS-тунелювання	183 / 47	180 / 44	0
Всього	3075 / 2317	2967 / 2295 (96% / 99%)	4

Висновки

Розроблено програмне забезпечення інформаційної технології виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка. Наведено результати застосування програмного забезпечення, які демонструють здатність виявлення бот-мереж на рівні до 96% з рівнем хибних спрацювань близько 4 %. Розроблене програмне забезпечення надає можливість виявляти як відомі, так і ще невідомі боти.

Література

1. DAMBALLA. Botnet Detection for Communications Service Providers [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.damballa.com/downloads/r_pubs/WP_Botnet_Detection_for_CSPs.pdf.
2. Бобровнікова К.Ю. Модель інформаційної технології виявлення бот-мереж на основі аналізу DNS-трафіка / К.Ю. Бобровнікова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 6 (231). – С. 164–172.
3. Pomorova O. A Technique for the Botnet Detection Based on DNS-Traffic Analysis / Oksana Pomorova, Oleg Savenko, Sergii Lysenko, Andrii Kryshchuk and Kira Bobrovnikova // Computer Networks 22th International Conference, CN 2015, Brunow, Poland, June 16–19, 2015. Proceedings, pp. 127–138.
4. Lysenko S. DNS-based Anti-evasion Technique for Botnets Detection / Sergii Lysenko, Oksana Pomorova, Oleg Savenko, Andrii Kryshchuk and Kira Bobrovnikova // Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), IDAAACS'2015, Warsaw, Poland, September 24–26, 2015, Vol. 1, pp. 453–458.
5. DAMBALLA. Botnet Communication Topologies. Understanding the intricacies of botnet command-and-control [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.damballa.com/downloads/r_pubs/WP_Botnet_Communications_Primer.pdf
6. Farnham, G., Atalasis, A. Detecting DNS Tunneling // SANS Institute InfoSec Reading Room, 2013. – pp. 1–32.
7. Salusky, W., Danford, R. Know your enemy: Fast-flux service networks. The HoneyNet Project, 2007 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.honeynet.org/book/export/html/130>.
8. Schiller C. Botnets: The Killer Web Application / Craig Schiller, James R. Binkley // Syngress Publishing, 2007. – 464 p.

Рецензія/Peer review : 3.2.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДЕНОРМАЛІЗАЦІЇ БАЗ ДАНИХ

В роботі розглядається питання швидкодії використання баз даних. На швидкість в певному степені впливає нормалізація. З метою прискорення виконання запитів здійснений порівняльний аналіз швидкості виконання запитів в нормалізованій і денормалізованій базі даних. Визначені фактори, які впливають на тривалість виконання запитів і ступінь їх впливу. В дослідженнях розглянута база даних, в якій в нормалізованому вигляді присутні дві таблиці, що дає можливість виокремити вплив різних факторів. Такими факторами є наявність зв'язків, що передбачають здійснювати звертання з однієї таблиці до іншої та здійснення пошуку в двох таблицях. Отримано, що нормалізація досить суттєво впливає на тривалість виконання запитів у відносному порівнянні. Поставлені задачі подальших досліджень.

Ключові слова: база даних, система керування базами даних, нормалізація, денормалізація, запити на вибірку, групування, швидкість виконання.

V. L. MARCHENKO, D. I. STOPCHAK,
Khmelnytsky National University

EFFICIENCY OF DATABASE NORMALIZATION USAGE

This paper examines the performance of using databases. Normalization in some amount affect the speed. The rate in some amount affect normalization. In order to accelerate query we have done comparative analysis of speed querying in denormalized and normalized databases. The factors affecting the duration of the queries and the amount of their influence. In studies we've examined a database in which there are two tables in normalized form which enables identification of various factors of influence. These factors are evidence of relations that providing appeals from one table to another and searching two tables. We've examined that normalization gives fairly significant impact on the duration of the queries in relative comparison. The task of further research given.

Keywords: database, database management system, normalization, denormalization, sample requests, grouping, speed of execution.

Вступ

Зазвичай вважається загальноприйнятим виконання нормалізації баз даних, що надає значні переваги. Насамперед це полегшує адміністрування та зменшує необхідну пам'ять для зберігання даних. Однак, останнім часом з'являється все більше досліджень, в яких вказується на недоцільність, в певних випадках, детальної нормалізації [1–5]. Обмеження кількості таблиць в схемі бази даних всупереч прийнятим нормам отримала назву денормалізація. Це стосується, головним чином, тих випадків, коли суттєво значення набуває швидкість роботи системи управління базами даних.

Попередні дослідження

Відомі дослідження несуть більш якісні рекомендації і не дають кількісної оцінки використання денормалізації. В даній роботі вказані випадки її доцільності. Зазначається, що звернення між таблицями є операціями, що потребують додаткового часу. Наприклад, в роботах [1, 3–5] вказується в більшості на технологію і варіанти використання денормалізації і зазначається прискорення використання запитів в випадку її впровадження. В роботі [2] зазначається, що наявність зв'язків між таблицями суттєво уповільнюють роботу з базою даних, але кількісної оцінки впливу наявності зв'язків не наведено. Теж саме можна сказати про рекомендацію використання денормалізації в базах даних з графічними полями. В роботі [2] зазначається про суттєвий вплив на тривалість виконання запитів з використанням групування і агрегатних функцій, але немає оцінки ступеня їх впливу. Питання доцільності її використання вимагають більш уважного вивчення і розглянути в даній роботі. Звісно, автори не ставлять під сумнів доцільність нормалізації, але намагаються визначити критерії встановлення ступеня нормалізації.

Постановка задачі

Метою даної роботи є визначення впливу нормалізації на тривалість роботи бази даних і, як результат цієї оцінки, ефективності роботи бази даних. Ефективність визначається витратами часу на виконання запитів різного типу. Витрати часу необхідно представити у вигляді залежностей від об'єму вибірки і кількості записів в таблицях.

Задача поставлена наступним чином – дослідити, які параметри нормалізації і яким чином впливають на швидкість роботи та порівняти отримані результати з денормалізованою базою даних.

Основна частина

Дослідження виконувалися в реляційній системі керування базами даних MySQL. Об'єктом досліджень прийнята створена база даних, яка використовувалась в двох варіантах – у вигляді двох та однієї таблиці (нормалізованої і ненормалізованої бази даних відповідно). Використання більш складної схеми даних вважалось недоцільним на даному етапі досліджень. Це завадить виокремити вплив певних параметрів на швидкість роботи з базою. Такими параметрами є виконання звертань між таблицями та необхідність здійснення пошуку в двох таблицях нормалізованої бази даних. Основна увага приділялась створенню запитів на вибірку в різних варіантах реалізації.

Для аналізу витрат часу на здійснення звертань між двома таблицями виконано розрахунки

швидкості виконання запиту на вибірку в нормалізованій базі даних, в якій одна з таблиць (головна) має один запис. Кількість записів в іншій таблиці (підпорядкованій) приймала значення 50000. В запит включено поля з двох таблиць, а критерій вибірки заданий для поля підпорядкованої таблиці. Об'єм вибірки змінювався в межах 0 – 50000 записів. Відповідні обчислення виконані для денормалізованої бази даних.

Результати в графічному вигляді наведено на рис. 1. Зважаючи на те, що час виконання запиту є незначним і на отримані результати може впливати виконання інших процесів операційної системи кожна точка на графіках є середнім з тисячі проведених аналогічних обчислень. На рисунку експериментальні значення апроксимовані логарифмічною залежністю. Суцільною лінією показані витрати для нормалізованої бази даних, а пунктиром – денормалізованої.

Аналізуючи наведені результати можна зазначити, що різниця в отриманих результатах для нормалізованої і денормалізованої баз даних збільшується із збільшенням об'єму вибірки і досягає максимуму при кількості записів, що дорівнює 10000. Подальше зростання об'єму вибірки практично не впливає на час виконання запиту. Це може бути пояснено алгоритмами пошуку, які входять в програмне забезпечення системи керування базами даних. З порівняння наведених результатів видно, що в нормалізованій базі швидкість виконання запиту на 30% більший, ніж у відповідній ненормалізованій. Очевидно, що збільшення тривалості виконання запиту обумовлено звертанням до головної таблиці при виконанні запиту. Необхідно звернути увагу, що на виконання пошуку в головній таблиці витрат

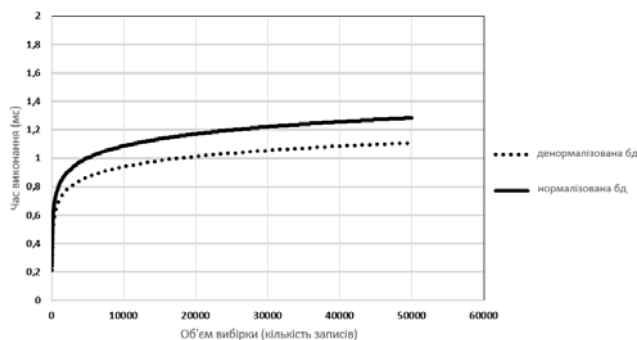


Рис. 1. Залежність тривалості використання запиту від об'єму вибірки (1 таблиця – 50 000 записів, 2 таблиця 1 запис)

збільшенням об'єму вибірки і при виборці 10000 записів досягає трьох мілісекунд, тобто втричі менша. Результати досліджень наведено на рис.2. Де, як і в попередньому випадку, апроксимація експериментальних даних є логарифмічною. Суцільною лінією показані витрати для нормалізованої бази даних, а пунктиром – денормалізованої бази даних.

Подальше зростання об'єму вибірки, як і в попередньому випадку, практично не впливає на результати.

В наведених на рис. 2 графічних залежностях кількість записів головної таблиці становила 5000. При меншій кількості записів головної таблиці різниця тривалості виконання запитів зменшується. Але навіть при незначній кількості записів головної таблиці (в декілька десятків) залишається суттєвою. Інтенсивність зростання різниці швидкостей виконання запиту в денормалізованій і нормалізованій базі даних показана на рис. 3. Наведено залежність різниці термінів виконання запиту з об'ємом вибірки 10000 записів в денормалізованій базі даних з 50000 записами і в нормалізованій, де кількість записів головної таблиці змінюється в межах від 0 до 50000.

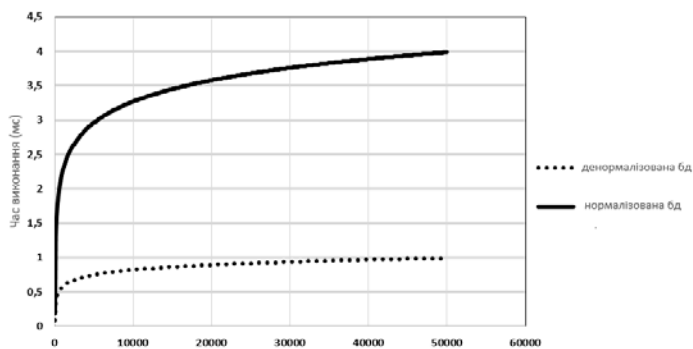


Рис. 2. Залежність тривалості використання запиту від об'єму вибірки (1 таблиця – 50 000 записів, 2 таблиця 5000 записів)

Необхідно звернути увагу на те, що критерій пошуку задавався для поля підпорядкованої таблиці. Тоді при виконанні вибірки пошук здійснювався двічі – в полі підпорядкованої таблиці за заданим критерієм і в головній таблиці в полі ідентифікатора при кожному звертанні. Запит може виконуватися в іншому порядку. Критерій може бути заданим для поля головної таблиці (в нашому випадку ця таблиця менша), а при кожному звертанні до підпорядкованої таблиці в ході виконання запиту пошук в підпорядкованій таблиці буде здійснюватись по полю ідентифікатора. Отже в першому і в другому випадку в нормалізованій базі даних пошук буде здійснюватись двічі. Але в першому випадку (критерій задається в підпорядкованій таблиці) в більшому текстовому полі і меншому полі ідентифікатора. В другому випадку (критерій задається в текстовому полі головної таблиці) в меншому текстовому полі і в більшому полі ідентифікатора. Вказана комбінація полів різних таблиць при виконанні запиту на вибірку може призвести до зниження ефективності денормалізації, якщо типи полів і розмір даних буде значно відрізнятися, але в

проведених в роботі досліджень отримано несуттєвий вплив типу поля на тривалість виконання запиту на вибірку. При здійсненні обчислень були розглянуті поля з цілим типом даних та текстовим, в якому кількість символів було задано 100 і 200. Але при більшій кількості символів ефект може бути протилежним. Тим більше, якщо тип поля буде графічним, а критерій пошуку заданим для цього поля.

Особливістю розглянутих прикладів є те, що результат містить велику кількість даних, пропорційних об'єму вибірки. Доступ до даних є послідовним і не дозволяє безпосередньо звернутися до необхідного елемента. Це призводить до необхідності перебору всіх елементів, які йому передують, що вимагає додаткових витрат часу. В деяких випадках, важливих при рішенні практичних задач, кількість даних в результаті обчислень є незначною при великій кількості записів

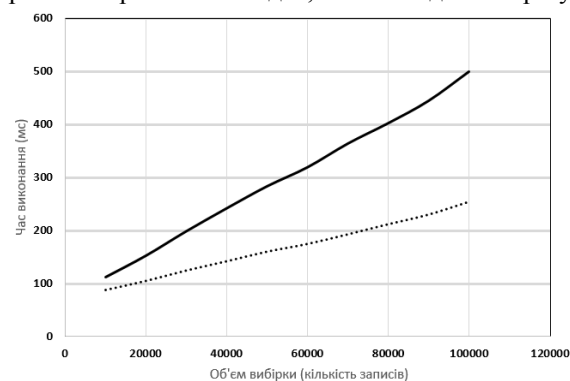


Рис. 4. Залежність використання агрегатної функції (сумування) від кількості записів, що відповідають заданому текстовому критерію.

відповідного йому значення в залежній таблиці). Тобто по осі x представлено кількість записів, які відповідають критерію і були використані для групової функції. Як видно з результатів, наведених на рис. 4 тривалість виконання запитів значно вища, ніж в попередніх випадках. Відмінним є і характер цієї залежності. В нормалізованій і денормалізованій базі даних залежність тривалості виконання запитів від об'єму вибірки є лінійним. Співвідношення між термінами виконання змінюється і становить 26,83% при величині вибірки 10000 записів та 96,79% при виборці 100000 записів.

Висновки

Отримані результати свідчать про те, що нормалізація бази даних вимагає певного зниження швидкодії. При одноразовому виконанні запитів в базі даних з двома таблицями це зниження незначне, але буде збільшуватися із збільшенням кількості таблиць. Зниження швидкості буде зростати при збільшенні кількості звертань до бази даних. На швидкодію впливає тип поля і розмір даних, що якісно змінює ефект нормалізації. При цьому в певних межах, які вказані в роботі і часто використовуються практично, цей вплив незначний. Отже перераховані висновки вказують тільки на те, що питання доцільності застосування надмірної нормалізації неоднозначні і вимагають додаткових досліджень.

Література

1. Серверы корпоративных баз данных [Електронний ресурс]. – Режим доступу :
2. <http://bourabai.kz/dbt/servers/index.htm>
3. Денормализация БД. Зачем? Когда? Как? [Електронний ресурс]. – Режим доступу :
4. <https://habrahabr.ru/post/64524/>
5. The Denormalization Survival Guide – Part I [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://tdan.com/the-denormalization-survival-guide-part-i/4988>
6. Гандерлой М. Освоение Microsoft SQL Server 2005 / М. Гандерлой, Д. Джорден, Д. Чанц. – М. : Диалектика, 2007. – С. 1103.
7. Databases: Normalization or Denormalization. Which is the better technique? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ovaistariq.net/199/databases-normalization-or-denormalization-which-is-the-better-technique/>

Рецензія/Peer review : 3.3.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, О.Й. ПІЦУН, С.О. ВЕРБОВИЙ
Тернопільський національний економічний університет

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ МІКРОСКОПІЇ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

В роботі проаналізовано сучасний стан систем автоматизованої мікроскопії та розглянуто сучасні методи та алгоритми, що використовуються у системах комп'ютерного зору. Виділено переваги та недоліки систем автоматизованої мікроскопії на трьох основних рівнях опрацювання зображень та виділено основні напрямки розвитку цих систем, зокрема – проектування гібридних інтелектуальних систем автоматизованої мікроскопії. Показано, що більшість систем володіють стандартним набором методів для першого та другого рівня опрацювання зображень і відмічено, що в них практично відсутній високий рівень розпізнавання зображень з компонентами підтримки прийняття рішень при постановці діагнозу.

Ключові слова: система автоматизованої мікроскопії, комп'ютерний зір, опрацювання зображень, гібридні інтелектуальні системи.

O. M. BEREZSKY, O. Y. PITSUN, S. O. VERBOVYY
Ternopil National Economic University

AUTOMATED MICROSCOPY SYSTEMS: STATE AND PERSPECTIVES

Current state of automated microscopy is analyzed, considered modern methods and algorithms, which are used in computer vision systems. Advantages and disadvantages of automated microscopy are pointed out on three main levels of processing images and highlighted the main directions of development of these systems, in particular – the design of hybrid intelligent systems automated microscopy. It is shown that vast majority of systems have a standard set of methods for first and second level of processing images and observed that there is almost no high level of image recognition of components of decision support diagnosis.

Keywords: automated microscopy systems, computer vision, image processing, hybrid intelligent systems.

Вступ

У клінічній практиці на даний час, як правило, при постановці діагнозу в онкології використовується світлова мікроскопія, яка є областю лабораторної діагностики, де домінує трудомісткий суб'єктивний якісний аналіз. Для автоматизації мікроскопічних досліджень застосовуються системи автоматизованої мікроскопії (САМ). САМ – це програмно-апаратні комплекси для цифрового опрацювання мікроскопічних зображень [1]. Основними проблемами подібних систем є якість опрацювання зображень і складність інтерфейсу.

САМ дозволяють проводити дослідження мікроскопічних зображень, виділяти мікрооб'єкти в ручному або автоматизованому режимах, здійснювати підрахунок певних характеристик та дозволять лікарю-діагносту ставити на основі отриманих даних діагноз. Прикладами таких системи є AxioVision, BioImageXD, ImageJ, MicroManager, МЕКОС - ЦГ та інші. Деякі із цих систем мають власне апаратне забезпечення (мікроскопи, фото-, відеокамери) для проведення досліджень, однак більшість є універсальними і підлаштовуються під різні типи мікроскопів.

Актуальним напрямом у розробці САМ є створення гібридних інтелектуальних систем, що дозволяють в автоматизованому режимі проводити опрацювання зображень та ставити попередній діагноз.

Поняття САМ та області застосування

1.1 Застосування САМ

Сучасні САМ характеризується високою ціною, складністю та жорстким інтерфейсом користувача. До того ж, такі системи дозволяють проводити лише опрацювання зображень в ручному або автоматизованому режимах, однак не дозволяють проводити постановку діагнозу в автоматизованому режимі, що значно спростило б та підвищило якість роботи лікарів-діагностів. Ще однією значною проблемою є зниження трудомісткості опрацювання зображень, використовуючи при цьому сучасні методи та алгоритми комп'ютерного зору.

На даний момент все більшої популярності набувають САМ для опрацювання біомедичних зображень різного типу, зокрема цитологічних та гістологічних зображень. Більшість САМ складаються з апаратної (мікроскоп, відеокамера) та програмної частин. Основне завдання програмної частини полягає у опрацюванні вхідного зображення та визначенні мікрооб'єктів та ознак для подальшої постановки діагнозу лікарем-фахівцем. До найпопулярніших систем відносять такі: МЕКОС-ЦГ, TissueFAXS, AnalySISFive, BioVision, ВидеоТесТМорфо 5.2, BioImageXD, Ariol, ImageJ, AnalySIS FIVE, MoticImagesAdvanced 3.2, ДиаМорф, MoticВидеоТесТМорфо 5.2, Cell D. Більшість САМ є універсальними, тобто вони не зосереджені на опрацюванні зображень одного типу, однак деякі комерційні засоби дозволяють встановити окремі модулі для опрацювання тих чи інших типів зображень, наприклад гістологічних.

САМ застосовуються у медицині, судовій медицині та в дослідницьких цілях.

1.2 Постановка проблеми

Основною проблемою у мікроскопії є автоматизація лікувально-діагностичного процесу. Вона полягає у правильному проектуванні систем опрацювання біомедичних зображень і сигналів, медичних

експертних систем, інформаційно-аналітичних систем та систем підтримки прийняття рішень. В області гістології і цитології для опрацювання біомедичних зображень застосовуються САМ.

1.3 Дослідження та публікації в області опрацювання біомедичних зображень

Проблема розробки САМ є актуальною і основний внесок у її розв'язання роблять розробники з США, Франції, Німеччини, Великої Британії, Китаю, Японії. Наприклад, Мітко V. (Велика Британія) розробив методику сегментації клітин та ядер на забарвлених гістологічних зображеннях [2]. ChenJia-Mei (Китай) застосував метод опорних векторів та метод сегментації водоподілу для сегментації клітин гістологічних зображень [3]. Т. Vrekoussis досліджував імуногістохімічні зразки раку молочної залози за допомогою САМ ImageJ [4]. Недзведь А. М. (Білорусь) описав теоретичні основи і методи опрацювання зображень, необхідні для обчислення характеристик, які лягли в основу ознак медичних мікрооб'єктів не тільки в задачах їх аналізу, а й в задачах розпізнавання [5].

1.4 Постановка завдання

Метою статті є порівняльний аналіз сучасних САМ за критеріями наявності методів та алгоритмів трьох рівнів опрацювання зображень та проектування структури САМ з використанням сучасних алгоритмів комп'ютерного зору та інтелектуального аналізу даних.

Стан розвитку САМ

2.1 Алгоритми низького рівня обробки зображень

Важливим етапом у аналізі зображення є попередня обробка. Адже, від цього залежить якість зображення та точність результатів на виході. Кожна САМ має свої набори алгоритмів та методів попередньої обробки зображення. Складність обробки біомедичних мікроскопічних зображень полягає у виявленні контурів та потрібних мікрооб'єктів і зменшенні шумів. У таблиці 1 (+ наявність, - відсутність, +/- наявність додаткового модулю) наведено порівняння САМ за певними критеріями, що відносяться до низького рівня обробки зображень. Саме тому, етап попередньої обробки є невід'ємною частиною САМ.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика САМ на низькому рівні обробки зображень

Критерії	Imagej	Axio Visison	BioImage XD	Motic	QCapture PRO	Icy	Image Pro Plus	Micro Manager	AnalySIS FIVE
Контрастування	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Зміна рівня яскравості	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Фільтр низьких / високих частот	+	+	+	+	-	-	+	+	+
Алгоритми виділення порогів:									
Лапласа,	-	+	-	+	+	-	+	+	+
Кріша,	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Собеля	+	+	+	-	+	+	+	+/-	+
Фільтри:									
Гаусів	+	+	+	+	+	+	+	+	+/-
Медіанний	+	+	+	+	+	-	+	+/-	+/-
Усереднюючий	+	+	-	-	-	-	-	+/-	+/-
Швидке перетворення Фур'є	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Морфологічні операції	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Вейвлет аналіз									
алгоритм Хаара	-	+	-	-	-	-	+/-	-	-
алгоритм Добеші	-	-	-	-	-	-	-	-	-
алгоритм «М hat»	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Практично усі САМ володіють стандартним набором методів попередньої обробки зображень, наприклад, зміна контрасту зображення, маніпулювання яскравістю, каналами зображення, застосування швидкого перетворення Фур'є. Для вибору найкращого або найкращих алгоритмів фільтрації для цитологічних та гістологічних зображень необхідно провести дослідження, використовуючи їх реалізацію у відомих САМ. Перевагою таких систем як ImageJ, AxioVisison, MoticImageAdvance є наявність декількох алгоритмів виділення порогів на зображенні. Недоліком більшості систем є обмежений набір алгоритмів

фільтрації та вейвлет-аналізу. Декотрі системи надають такий функціонал у формі додаткових комерційних або некомерційних модулів.

Цифрове зображення піддається впливу різних типів шумів, які утворюються на етапі отримання зображення чи його передачі [6]. Зазвичай, шуми появляються через низьку якість фото - та відеотехніки, а також при передачі зображення по каналах зв'язку. Низька якість зображення може бути спричинена також людським фактором.

Виділяють такі поширені алгоритми фільтрації: гаусів, медіанний, усереднюючий, адаптивний. Приклад фільтрації зображення за допомогою різних алгоритмів наведено на рис.1. За основу було взято оригінальне зашумлене зображення.

Одним з найбільш простих і природних способів виявлення мікрооб'єктів є вибір порогу за яскравістю (порогова класифікація (thresholding)) [7]. Виділяють такі поширені алгоритми визначення порогів: алгоритм Кенні, Собеля, диференціальне виділення порогів, уточнення кордонів.

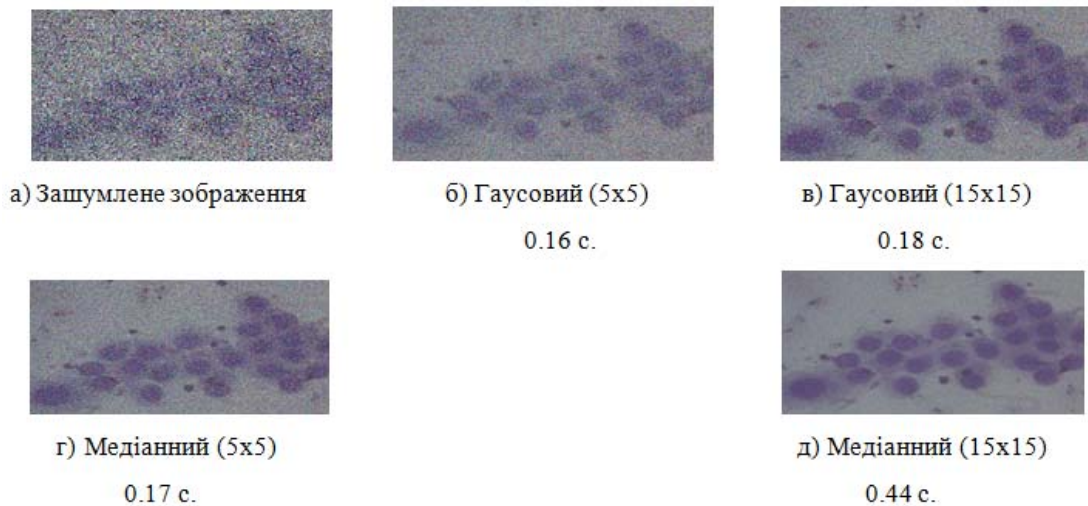


Рис. 1. Порівняльний аналіз алгоритмів фільтрації зображень

У результаті порівняння алгоритмів фільтрації зображень досліджено, що медіанний фільтр показав дещо гірші результати у швидкості обробки, однак, що важливіше, кращі у якості кінцевого зображення. Тому при виборі САМ потрібно віддавати перевагу тим, що мають у своєму складі даний фільтр. Приклад виділення порогів на зображенні наведено на рис. 2.

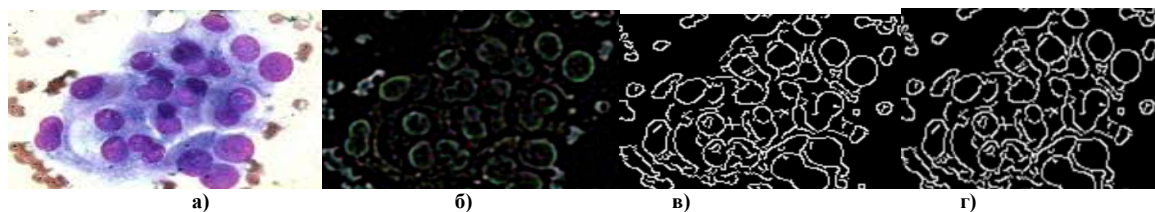


Рис. 2. Алгоритми виділення порогів (а – оригінальне зображення, б – Лапласіан, в – Кенні, г – Собеля)

У результаті порівняння алгоритмів виділення порогів алгоритми Кенні та Собеля продемонстрували найкращі результати за якістю обробки вхідного зображення. Дані алгоритми реалізовані у більшості САМ.

Значною перевагою САМ є наявність вейвлет-перетворення зображень. Вейвлет локалізує сигнал і в просторі і в частотній області [8]. Вхідний сигнал можна представити набором хвильових пакетів – вейвлетів, утворених на основі деякої базової функції [9]. Цей набір є відмінним в різних частинах часового інтервалу визначення сигналу і корегується множниками, що мають вигляд складних часових функцій [10].

За допомогою перетворення Фур'є відбувається отримання частотної області (спектра) вхідного зображення [11]. Швидке перетворення Фур'є (ШПФ) є швидким алгоритмом обчислення дискретного перетворення Фур'є [12]. Для прямого обчислення дискретного перетворення Фур'є з N точок даних потрібно $O(N^2)$ арифметичних операцій, а ШПФ дозволяє обчислити такий самий результат використовуючи $O(N \log N)$ операцій.

2.2 Алгоритми середнього рівня опрацювання зображень

У системах комп'ютерного зору сегментація зображення є одним із найскладніших етапів. Етап сегментації передбачає поділ зображення на області, для яких виконується певний критерій однорідності, наприклад, виділення на зображенні областей приблизно однакової яскравості. Порівняльну характеристику алгоритмів сегментації наведено у таблиці 2 (+ наявність, - відсутність, +/- наявність додаткового модуля).

Порівняльна характеристика алгоритмів середнього рівня опрацювання зображень

CAM	Метод K – means	Розумні ножиці	Snakes	Метод водорозподілу	Алгоритм Крускала	Grab Cut	Mean shift	Кодування контурів	RAN SAC	Перетворення Хафа
ImageJ	+	+/-	+	+	+/-	+/-	+	-	+	+/-
AxioVision	+	-	+	+	+	+	-	+/-	-	+
BioImage	+	+	+	+	+	-	-	+/-	+	+/-
Motic	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-
QCapture	+	+	-	+	-	-	-	+/-	+	+
Image Pro	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+
Icy	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Micro Manager	+	+/-	+	+/-	-	+/-	-	-	+	+

Отже, більшість систем мають у своєму складі такий приблизно однаковий перелік алгоритмів сегментації. Такі CAM як BioImageXD та AxioVisison, мають у своєму складі найбільший набір реалізованих алгоритмів сегментації. Програмний комплекс ImageJ у своєму складі має лише декілька алгоритмів сегментації, однак є можливість інсталяції додаткових модулів.

Перевага методу активних контурів полягає в тому, що вони ділять зображення на підобласті з неперервними контурами. Моделі контуру базуються на граничних детекторах, зазвичай на основі градієнта зображення, знаходять кордони підобластей і притягують контури до виявлених кордонів [13].

Алгоритм «Snakes» широко використовуються в сегментації біомедичних зображень. Основний його недолік полягає в тому, що вплив внутрішньої енергії має тенденцію надмірно витягувати область, вироджуючи її в пряму [14].

Основними перевагами алгоритму «Snakes» є відносна простота реалізації і стійкість до змін вхідних даних. Приклад використання алгоритму «Snakes» зображено на рис.3.

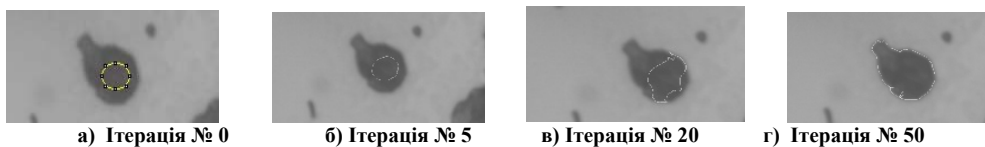


Рис. 3. Сегментація зображення алгоритмом «Snakes»

Одним з перших алгоритмів інтерактивної сегментації був алгоритм «Magic wand» («Чарівна паличка»). Алгоритм працює так: користувач вказує деяку точку об'єкта і алгоритм виділяє навколишні пікселі із подібним кольором [15]. Алгоритм «Розумні ножиці» розглядає все зображення як зважений неорієнтований граф, кожна вершина якого відповідає пікселю зображення [16]. Основне обмеження алгоритму полягає в тому, що в сильно текстурованих областях є багато альтернативних шляхів. Піксель або група пікселів вважаються вершиною, а ваги ребер визначають подібність або неподібність сусідніх пікселів. Потім граф (зображення) розрізається згідно критерію, створеному для отримання «хороших» кластерів [17].

Метод *k*-середніх – це ітеративний метод, який використовується щоб розділити зображення на *K* кластерів. Результати сегментації цитологічного зображення методом *k*-середніх наведено на рис. 4. На даному рисунку зображено цитологічне зображення після етапу сегментації методом *k*-середніх з різним параметром *n*. Зі збільшенням параметру *n* збільшується деталізація окремих мікрооб'єктів на зображенні, однак і зростають при цьому затрати на його опрацювання.

Принцип дії алгоритму «Meanshift» базується на пошуку максимуму густини ймовірності деякої функції, яка описує дискретні дані зображення. Ядро визначає вагу різних точок зображення при оцінці середнього значення [18]. Основна перевага алгоритму – це швидкість опрацювання.

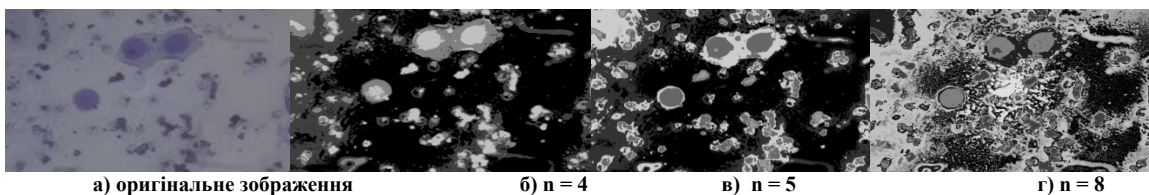


Рис. 4. Сегментація методом *k*-середніх

Контурний аналіз (КА) застосовують для опису, зберігання, порівняння і пошуку мікрооб'єктів, представлених у вигляді контурів [19]. Він дозволяє ефективно маніпулювати об'єктами в евклідовому і в афінному просторах. У системах комп'ютерного зору найпопулярнішими видами кодування контурів є код Фрімена, двовимірне кодування та полігональне кодування.

Перетворення Хафа – це перетворення, яке застосовують для пошуку об'єктів, що належать визначеному класу фігур з використанням процедури голосування [20]. Класичний алгоритм перетворення Хафа пов'язаний з ідентифікацією прямих на зображенні, але пізніше алгоритм був розширений можливістю ідентифікації довільної фігури, найчастіше еліпсів і кіл [21]. Алгоритм «RANSAC» – альтернатива алгоритму перетворення Хафа [22]. Перевагою алгоритму «RANSAC» є надійна оцінка параметрів моделі. Недоліком багатьох САМ є відсутність у своєму складі багатьох методів кодування контурів та алгоритмів виділення певних елементів, наприклад, ліній, кіл чи еліпсів, що ускладнює опрацювання зображення на високому рівні. Найбільш повним набором елементів володіють такі системи як BioImageXD, AxioVision та AnalySIS FIVE.

2.3. Алгоритми високого рівня опрацювання зображень

Ключовим етапом систем автоматизованої мікроскопії є етап виділення та розпізнання мікрооб'єктів на зображенні, наприклад ядра, цитоплазми і т.п. Порівняльну характеристику САМ на високому рівні опрацювання зображень представлено у таблиці 3 (+ наявність, - відсутність, +/- наявність додаткового модулю).

Таблиця 3

Порівняльна характеристика САМ на високому рівні опрацювання зображень

Критерії	ImageJ	Axio Vision	BioImage XD	motic	QCapture PRO	Icy	Image Pro Plus	Micro Manager	AnalySIS FIVE
Автоматична адаптація до зображення	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Детектування об'єктів	+/-	+/-	-	-	-	-	+/-	+/-	-
Порівняння зображень	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Класифікатори нейронні мережі	-	+	-	-	-	-	-	-	-
SVM	+/-	-	-	-	+/-	-	+	+/-	-
Байєсівський	+/-	+/-	+/-	-	-	-	+/-	-	+/-

Під класифікацією об'єктів зображення розуміють присвоєння певному об'єкту відповідного номеру чи назви класу.

Метод опорних векторів (SVM) – набір подібних алгоритмів навчання з учителем, що використовуються для задач класифікації та регресійного аналізу [23]. Особливою властивістю методу опорних векторів є постійне зменшення емпіричної помилки класифікації.

Згорткова нейронна мережа поєднує в собі виділення елементарних ознак зображення, формування більш складних ознак та власне розпізнавання [24]. Ідея згорткових нейронних мереж полягає в чергуванні згорткових шарів, субдискретизуючих шарів і наявності повнозв'язних шарів на виході.

Алгоритм «AdaBoost» – це алгоритм посилення класифікаторів, шляхом об'єднання їх в комітет. Даний алгоритм є адаптивним в тому сенсі, що кожен наступний комітет класифікаторів будується на об'єктах, невірно класифікованих попередніми комітетами [25].

Байєсівський класифікатор — це класифікатор, що використовує теорему Байєса для визначення ймовірності належності елемента до одного з класів. Якщо можна визначити, якому класу належить об'єкт, то класифікатор повідомить, що ймовірність належності до цього класу дорівнює 1. В інших випадках класифікатор побудує вектор, компоненти якого є ймовірностями належності до того чи іншого класу [26].

3 Узагальнена структура САМ

В результаті аналізу відомих САМ синтезуємо узагальнену структуру програмної системи.

САМ складається з двох базових частин: модуля опрацювання зображень та модуля постановки діагнозу. Ці модулі ще поділяються на підмодулі. Наприклад, модуль опрацювання зображень складається з трьох рівнів опрацювання. Підмодулі низького, середнього та високого рівнів опрацювання зображень зв'язані між собою та складаються із власних підсистем. Опис базових елементів даних підмодулів наведено у попередніх розділах. Особливої уваги заслуговує підмодуль інтелектуального аналізу даних. Використання інтелектуальних систем в галузі медичного діагностування дає можливість зберігати, накопичувати та в подальшому використовувати досвід експертів [27]. Основним компонентом таких систем є бази знань (БЗ).

Роботою лікаря-діагноста є візуальна інтерпретація зображень, виділення якісних ознак мікрооб'єктів, формування діагностичних правил на основі експертних знань та постановка діагнозу [28]. У режимі набуття знань діалог із системою здійснює лікар-діагност та інженер із знань [29]. У цьому режимі лікар-діагност (цитолог або гістолог), використовуючи компоненту набуття знань, наповнює систему

знаннями, які дозволяють інтелектуальній системі в автоматичному режимі ставити попередній діагноз [30].

Для представлення знань використано нечітку продукційну модель, в якій знання представлені у формі правил «if-then». Машина логічного висновку – це модуль, що призначений для логічного виводу з БЗ фактів та правил на основі законів формальної логіки [31].

На рис. 5 зображено структуру САМ з використанням набору сучасних методів та алгоритмів опрацювання зображень на низькому, середньому рівнях, а на рис. 6 на високому рівні.

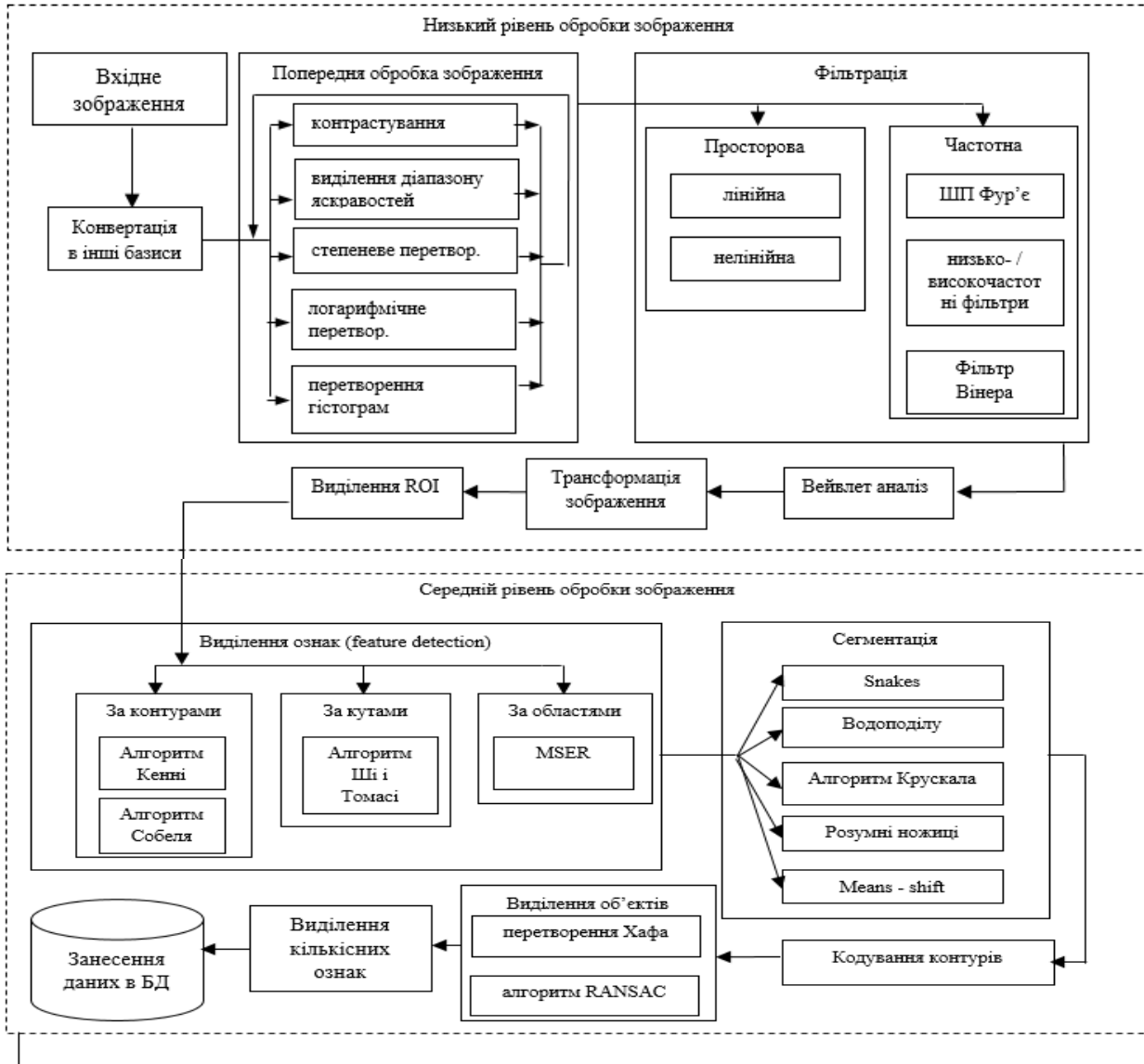


Рис. 5. Структура САМ низькому, середньому рівнях

Розпізнавання зображень використано для отримання інформації про тип мікрооб’єктів, описуючи множину атрибутів для ідентифікації певного класу [32].

На відміну від низького та середнього рівнів опрацювання зображень рівень розпізнавання слабо представлений у САМ, тому він потребує особливої уваги при проектуванні нових систем. Запропонована узагальнена структура передбачає використання методів та алгоритмів, котрі до цього застосовувались у САМ та сучасних алгоритмів опрацювання зображень.

Подяки

Робота виконана в рамках держбюджетної теми «Гібридна інтелектуальна інформаційна технологія діагностування передракових станів молочної залози на основі аналізу зображень» № ДР 116U002500.

Висновки

Базуючись на сучасних методах та алгоритмах комп’ютерного зору проведено порівняльну характеристику САМ на нижньому, середньому та високому рівнях опрацювання зображень, що дозволило виділити базові методи та алгоритми: для низького рівня – гаусів, адаптивний, низько-, височастотні фільтри, швидке перетворення Фур’є, вейвлет-аналіз; для середнього рівня – виділення ознак (за контурами, областями, кутами), сегментація (алгоритми «Розумні ножиці», «Snakes», «Mean-shift», водоподілу),

виділення мікрооб'єктів (алгоритми Хафа, «RANSAC»); для високого рівня – методи розпізнавання (статистичний, морфологічний, структурний), на базі нейронних мереж і метод опорних векторів.

На даний час основним трендом розвитку інтелектуальних систем є напрям гібридизації, який для розв'язання задач використовує різні підходи та засоби штучного інтелекту.

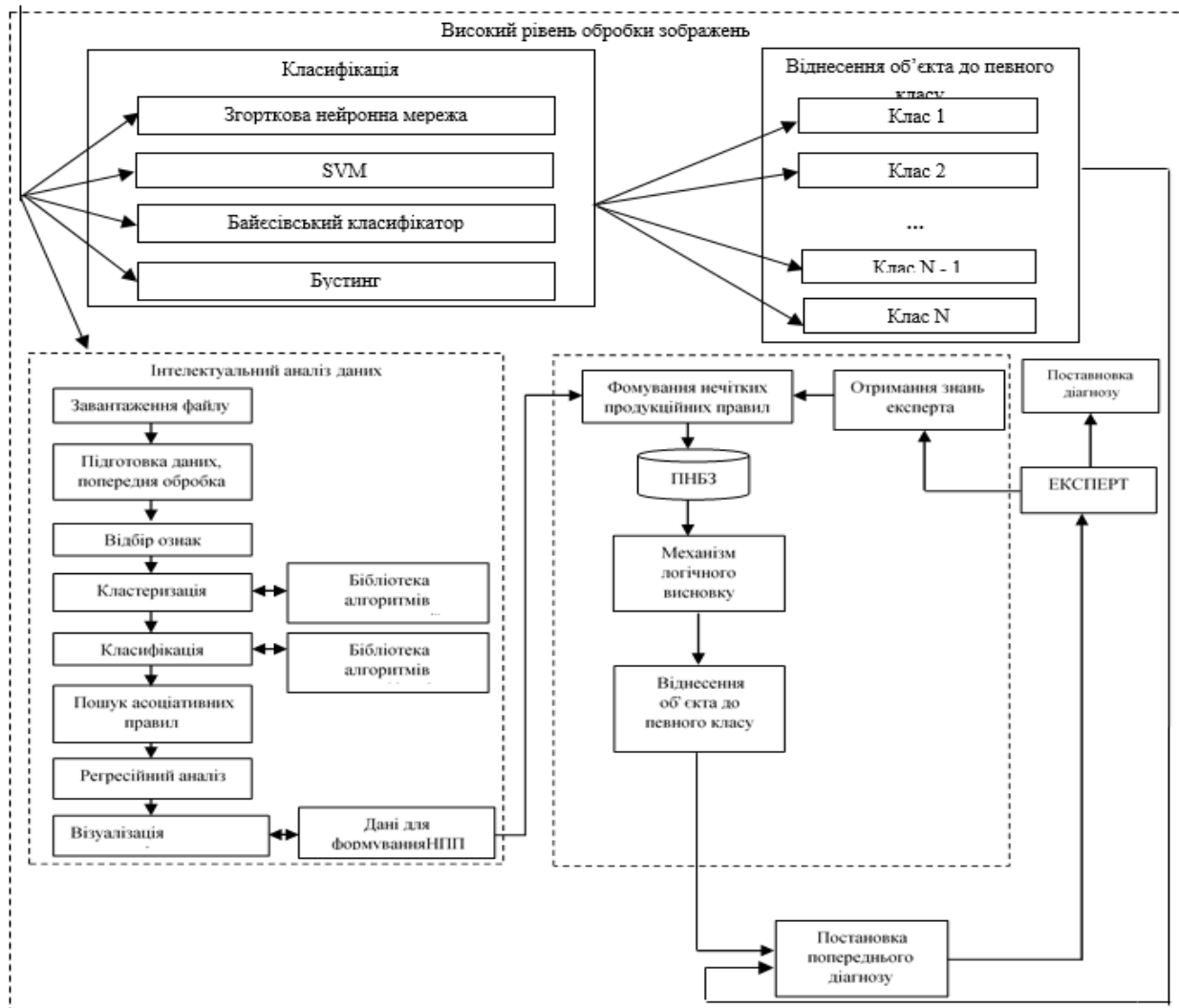


Рис. 6. Структура САМ на високому рівні

Література

1. Березький О. М. Інформаційно-аналітична система дослідження та діагностування пухлинних клітин на основі аналізу їх зображень / О. М. Березький, Ю.М. Батько, Г.М.Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 4. – С. 33–41.
2. Veta Mitko Breast cancer histopathology image analysis: A review / Mitko Veta, JPW Plum, PJ van Diest, M Viergever // Biomedical Engineering, IEEE Transactions. – 2014, № 61(5). – pp. 1400–1411.
3. Chen Jia-Mei New breast cancer prognostic factors identified by computer-aided image analysis of HE stained histopathology images / Chen, Jia-Mei; Qu, Ai-Ping // Nature Scientific Reports. – 2015, № 5.
4. Vrekoussis T. Image analysis of breast cancer immunohistochemistry-stained sections using ImageJ: an RGB-based model / Vrekoussis T1, Chaniotis V, Navrozoglou I // Anticancer Res. – 2009. – № 29(12). – pp. 4995–8.
5. Недзьведь А.М. Гибкая система обработки изображений на базе скрипт-ядра с использованием интеллектуального агента / А.М. Недзьведь, П.В. Лукашевич, А.М. Белоцерковский // Искусственный интеллект. — 2013. – № 3. — С. 200–208.
6. Sezgin Mehmet. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation / Mehmet Sezgin, Tubitak Marmara // Journal of Electronic Imaging. – 2009. – № 13(1). – pp. 146–165.
7. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах : навчальний посібник / [О.В. Дробик, В.В. Кідалов, В.В. Коваль та ін]. – К. : Наукова думка, 2008. – 144 с.
8. Portilla, J. Image denoising using scale mixtures of Gaussians in the wavelet domain / V. Strela, M. Wainwright, E. P. Simoncelli // IEEE Transactions on Image Processing – 2003. – № 12(11). – pp. 1338–1351.
9. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории : учебное пособие для вузов / К. Блаттер ; пер. с нем. Т. Э. Кренкель, ред. пер. А. Г. Кюркчан. – М. : Техносфера, 2006. – 2711 с.

10. Малла С. Вейвлет в обробці сигналів : навчальний посібник для вузів / Малла С. ; пер. Я. М. Жилейкин. – М. : Мир, 2005. – 671 с.
11. Ng, R. Fourier slice photography / Ren Ng // ACM Transactions on Graphics – 2005, № 24(3). – pp. 735–744.
12. De Castro E. Registration of translated and rotated images using finite Fourier transforms // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI—1987, № 9(5). – pp. 700–703.
13. Arbelleaz P. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation. // EECS Department, University of California, Berkeley. Submitted to PAMI – 2010. – № 17.
14. Amini, A. A. Using dynamic programming for solving variational problems in vision // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, № 12(9). – pp. 855–867.
15. Березький О. М. Методи сегментації біомедичних зображень / О. М. Березький, Ю.М. Батько, Г.М.Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 1. – С. 189–197.
16. Грибков И.В. Исследование методов сегментации изображений / И.В. Грибков, П.П. Кольцов, А.А. Кравченко // Программные продукты и системы. – 2008. № 4.
17. Алгоритмические основы растровой графики: Алгоритм "Умные ножницы" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.intuit.ru/studies/courses/993/163/lecture/4509?page=2>
18. Felzenszwalb, P. F. Efficient graph-based image segmentation / P. F. Felzenszwalb, D. P. Huttenlocher // International Journal of Computer Vision, – 2004, № 59(2). – pp. 167–181.
19. Comaniciu D. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis / D. Comaniciu, P. Meer // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, № 24(5). – pp. 603–619
20. Millasseau S.C. Determination of age-related increases in large artery stiffness by digital pulse contour analysis / S.C. Millasseau, R.P. Kelly // Clinical Science – 2002, № 103(4). – pp. 371–277.
21. Duda, R. O., Hart, P. E. Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures // Communications of the ACM. – 1972, № 15(1). – pp. 11–15.
22. Yuen H.K., Illingworth J., Kittler J. Detecting partially occluded ellipses using the Hough transform // Image and Vision Computing. – 1989, №7(1). – pp. 31–37.
23. Schnabel R., Wahl R., Klein R. Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection // Computer Graphics Forum. – 2007, № 26(2). – pp. 214–226.
24. Lampert C. H. Kernel methods in computer vision. // Foundations and Trends in Computer Graphics and Computer Vision. –2008, № 4(3). – pp. 193–285.
25. Горелик А.Л. Методы распознавания : учебное пособие / Горелик, А.Л., Скрипкин, В. А. – М. : Высшая Школа, 2004. – 261 с.
26. Файнзильберг Л.С. Гарантированная оценка эффективности исследовательских тестов на базе усиленного ROC-анализа / Л.С. Файнзильберг, Т.Н. Жук // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 5. – С. 3–13.
27. Wan E.A. Neural network classification: a Bayesian interpretation // IEEE Transactions on Neural Networks. – 1990, № 1(4). – pp. 303–305.
28. Jacobsen H.A. A generic architecture for hybrid intelligent systems // IEEE Fuzzy Systems. Anchorage, Alaska. – 1998, pp. 709–714.
29. Fenton B. Diagnosis of electronic systems // IEEE Instrumentation&Measurement Magazine. – 2002, № 9. – pp. 16–20.
30. El Fergany A.A. “Diagnosis in power systems – substation level – through hybrid artificial neural networks and expert system” in Conference: Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES, Vol. 1, – pp. 207–211.
31. Q. Zhang "Fault Location of Two-parallel Transmission Line for Non-earth Fault Using One-terminal Data" in IEEE PWRD-14, 1999, № 3. – pp.863 –867.
32. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В.Ф.Хорошевский // СПб : Питер, 2000. – 384 с.
33. Симанков В.С., Генетические алгоритмы и поиск оптимальных решений / В.С., Симанков В.А. Частикова // Автоматизация и современные технологии. – 2003. – № 6. – С. 36–45.

Рецензія/Peer review : 29.2.2016 р.

Надрукована/Printed :18.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Николайчук Ярослав Миколайович

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ МОДИФІКАЦІЮ ШИФРУ ГАМУВАННЯ

Широке впровадження інформаційних систем обміну даними потребує забезпечення захисту конфіденційної інформації. Стаття присвячена розгляду проблеми забезпечення інформаційної безпеки електронних документів. Розглянуті особливості процесу шифрування та дешифрування інформації. Досліджено принципи використання псевдовипадкових послідовностей чисел в криптографії, зокрема в шифруванні методом гамування. Побудовано схему алгоритму криптографічних перетворень даним методом. Проведено аналіз основних властивостей та вимог шифру гамування, які впливають на криптографічну стійкість. Запропонований новий метод побудови криптографічних систем з використанням вдосконаленого шифру гамування на основі випадкових чисел. Показано схему модифікованого алгоритму шифрування методом накладання гами.

Ключові слова: шифрування, шифр гамування, псевдовипадкові числа, сума за модулем, криптографічна стійкість.

І.О. ROZLOMIY

Cherkassy Bogdan Khmelnytsky National University

IMPROVING EFFICIENCY OF PROTECTION OF DIGITAL DOCUMENTS WITH MODIFICATION OF THE STREAM CIPHER

The aim of this work is to develop an effective method of increasing the level of information security of digital documents by modifying a stream cipher. The widespread of the information systems for data exchange deployed needs to protect of confidential information. In the article we explored some features of the encryption and decryption of information. Study of the principles of using pseudorandom sequence of numbers in cryptography was conducted, including a method with using the stream cipher. The schema of the cryptography algorithm of this method was developed. Main features and requirements of the stream cipher which affect the cryptographic strength of it were analyzed. The new method of building the cryptography systems with the use of improved stream cipher based on random numbers was suggested. Based on the conducted research, a schema of modified cipher algorithm with the application of gamma was built, and the main principles of its functioning were described.

Keywords: encryption, stream cipher, pseudorandom numbers, XOR, cryptography strength.

Вступ. У зв'язку з інтенсивним впровадженням, майже в усі сфери діяльності людини, автоматизованих систем обміну конфіденційною інформацією виникає необхідність її захисту. Все більша частина інформації, яка є інтелектуальною власністю, обробляється і зберігається в електронному вигляді. Одним з критеріїв функціонування сучасної держави є наявність захищеного, динамічно розвинутого інформаційного простору. Інформаційна безпека (ІБ) є одним із основних напрямків забезпечення надійності функціонування будь-якої організаційної структури. Захист інформації представляє собою комплекс заходів, спрямованих на забезпечення інформаційної безпеки. Поняття ІБ включає здатність системи зберігати свою цілісність і працездатність за умов можливого негативного впливу і досягається шляхом проведення відповідного рівня політики безпеки.

Особливо актуальною ця проблема є по відношенню до систем електронного документообігу. Захист електронних документів (ЕД) є актуальним для різних задач: захист документообігу промислових підприємств, забезпечення конфіденційності інформації в медичних закладах, захист ЕД, що забезпечують функціонування платіжних мереж в банківській сфері [1]. Питання захисту ЕД не можуть бути повністю вирішеними лише стандартним набором засобів захисту інформації. Тому використання інформаційних технологій призвело до розвитку різноманітних методів захисту інформації, серед яких можна виділити кодування та криптографію.

Постановка проблеми. Зростаюча потреба в надійному захисті електронних документів ставить безпрецедентні завдання перед комп'ютерною індустрією. За умов сучасного розвитку інформаційних технологій забезпечення надійно захищеного електронного документообігу є актуальною задачею. В основній більшості, системи захисту електронних документів базуються на засобах криптографії [2]. Недавні успіхи криптографії демонструють різноманітні способи вирішення питання захисту ЕД. Слід зауважити те, що деякі алгоритми шифрування характеризуються низькою швидкістю, або не відповідають вимогам криптографічної стійкості. До криптографічних алгоритмів зараз пред'являють жорсткі технологічні вимоги не лише по забезпеченню криптостійкості, а також щодо швидкості та простоти реалізації. В зв'язку з підвищенням вимог до сучасних криптосистем вдосконалення існуючих та розробка алгоритмів шифрування є першочерговим завданням забезпечення безпеки інформаційних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом спостерігається великий інтерес до функціонування систем захищеного документообігу. Питаннями захисту ЕД займалася значна кількість науковців, серед яких варто відмітити праці Михерського Р.М., Астахової Т.С., Панасенка С.П., Авдошина С.М. та інших фахівців галузі інформаційної безпеки.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проте, більшість із запропонованих алгоритмів забезпечення ІБ не можуть повністю вирішити проблему захисту ЕД. Сучасні криптографічні

системи характеризуються дисбалансом між криптографічною стійкістю та ефективністю захисту. Не достатньо уваги приділяється створенню надійних швидкодіючих механізмів захисту.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є підвищення рівня ІБ електронних документів. Для досягнення мети досліджено основні принципи та механізми шифрування. Визначено роль псевдовипадкових послідовностей чисел (ПВЧ) в криптографічних алгоритмах, способи отримання ПВЧ. Запропоновано новий метод побудови криптографічних систем з використанням вдосконаленого шифру гамування на основі випадкових чисел.

Виклад основного матеріалу дослідження. Забезпечення інформаційної безпеки є одним з пріоритетних напрямків розвитку інформаційних технологій. Коло завдань, що вирішуються в цій сфері, постійно розширюється, як в кількісному, так і якісному відношенні. Одним із основних засобів, що використовуються для захисту інформації в комп'ютерних системах є криптографічні перетворення. Криптографічні методи, безумовно, найнадійніший спосіб захисту інформації, оскільки захищається безпосередньо сама інформація, а не доступ до неї. Сучасні криптосистеми поділяють на криптосистеми з відкритим ключем – симетричні та з закритим ключем – асиметричні [3]. Всі існуючі криптографічні методи базуються на таких перетвореннях, як підстановки, перестановки, блочні шифри та гамування. Розробка сучасних алгоритмів захисту інформації потребує постійного вдосконалення і відповідності поставленим вимогам.

Постійний розвиток методів криптографічного аналізу не дозволяє довгий час використовувати криптосистему без її вдосконалень, які ускладнюють роботу криптоаналітика. Криптографічні системи модифікуються різними способами: збільшенням довжини ключа, за рахунок багатократного шифрування та іншими.

Для забезпечення захисту електронних документів (ЕД) використовуються різні криптографічні методи, що дозволяють перетворювати інформацію таким чином, що її зміст можна прочитати лише володіючи ключем шифрування. Шифрування сприяє забезпеченню основних властивостей ЕД, таких як: конфіденційність, цілісність та достовірність. Шифрування – процес перетворення відкритих даних в закриті за визначеними криптографічними правилами [4]. Дане перетворення в математичній формі можна представити у вигляді залежностей, які описують алгоритм шифрування (1) та дешифрування (2) інформації.

$$Z = Fk_1(T), \quad (1)$$

$$T' = Rk_2(Z), \quad (2)$$

де T – відкритий текст документу, Z – зашифрований текст, F – функція шифрування, яка виконує криптографічні перетворення над відкритим текстом за допомогою ключа шифрування k_1 , T' – розшифрований текст, R – функція розшифрування, що виконує обернені криптографічні перетворення над зашифрованим текстом, використовуючи ключ розшифрування k_2 . Найважливішою характеристикою будь-якого шифру є його криптографічна стійкість, яка відображає наскільки успішно алгоритм вирішує завдання шифрування. Крипостійкість – головна характеристика алгоритму шифрування, що говорить про складність отримання зловмисником вихідного тексту ЕД не володіючи ключем розшифрування [5].

В загальному вигляді алгоритм шифрування-дешифрування електронних документів можна показати таким чином (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм шифрування-дешифрування ЕД

Останнім часом великої популярності набули методи шифрування на основі використання послідовностей випадкових чисел. Насамперед, це пов'язано з легкою реалізацією, модифікацією та високою швидкодією таких шифрів [6]. ПВЧ грають в криптографії визначну роль, вони використовуються для формування ключових параметрів криптографічних алгоритмів, а також послідовностей шифруючих підстановок в криптосистемах. Датчики ПВЧ застосовуються в криптографічних протоколах для формування ключів, при хешуванні паролів, а також в симетричних системах захисту конфіденційної інформації. Криптографія і випадковість взаємопов'язані поняття, оскільки засобами криптографічних перетворень відкритий текст перетворюється в зашифровану послідовність випадкових символів. Для реалізації систем шифрування використовують ПВЧ, тому стійкість шифру в основному залежить від алгоритму формування випадкової послідовності.

Ідея використання ПВЧ знайшла своє застосування в шифрі гамування, в якому алгоритм генерації гами грає вирішальну роль. Одним з ефективних методів забезпечення захисту ЕД є застосування шифру гамування. Формально гамування можна віднести до класу шифрів багатоалфавітної заміни, але завдяки зручності реалізації і формального опису, шифри гамування широко використовуються і зазвичай їх виділяють в окремий клас [7]. На (рис. 2) показано схематичне зображення алгоритму шифрування-

розшифрування текстового документу методом гамування.

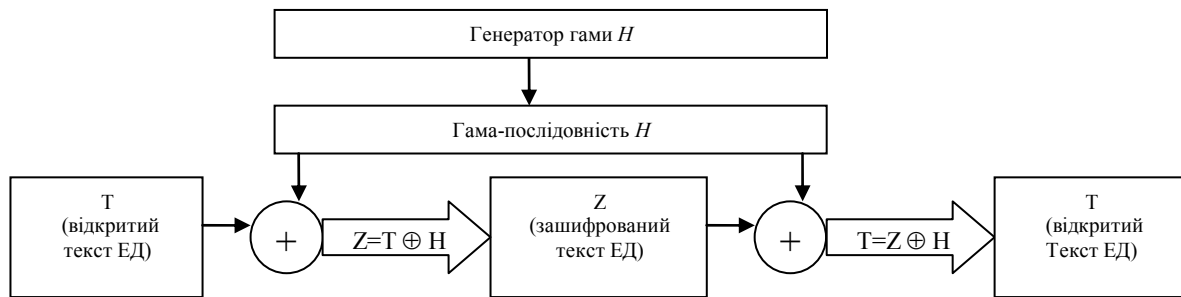


Рис. 2. Алгоритм шифрування-дешифрування тексту ЕД методом гамування

Суть даного методу полягає в накладанні на відкритий текст ЕД деякої псевдовипадкової послідовності – гама, що згенерована на основі ключа. Зазвичай, для генерації ПВЧ використовуються генератори ПВЧ (ГПВЧ), конгруентні датчики, датчики M -послідовностей, нелінійні датчики ПВЧ. Датчик ПВЧ генерує гаму, з визначеним періодом повтору, в залежності від вказаних параметрів і ключа, який може бути обраний будь-якого розміру. Лінійний конгруентний датчик генерує ПВЧ за модулем деякого натурального числа m , який задається формулою (3).

$$X_{k+1} = (aX_k + c) \bmod m, \quad (3)$$

де a , c , m – цілочисельні коефіцієнти, вибрані константи. Отримана послідовність залежить від обраного значення початкової величини X_0 . Очевидно, що послідовність отримана за такою формулою матиме період, рівний m . При шифруванні великих об'ємів текстів періодичність призводить до зниження криптостійкості алгоритму.

Крім ГПВЧ, конгруентних датчиків, мають місце і інші, більш складні, варіанти отримання чисел для гама шифру. Відомий ряд ГПВЧ і з великими періодами, але кількість надійних генераторів досить невелика, що сприяє полегшенню відкриття зашифрованої інформації. Як альтернатива, замість псевдовипадкових, можна застосовувати квазівипадкові послідовності чисел. Такі послідовності не періодичні, що дозволяє використовувати їх для шифрування даних довільного розміру [8].

Принцип шифрування методом гамування досить простий – відкритий текст замінюється шифрованим текстом, шляхом накладання згенерованої гама на текст. Зазвичай, шифрувати доводиться документи різного розміру. Представимо відкритий текст ЕД довільного розміру у вигляді послідовності $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$, де $t_i \in [0,1]$ – операнди-розряди, символи відкритого тексту ЕД. Згенеровану, на основі секретного ключа k , гаму псевдовипадкових чисел представимо у вигляді послідовності $H = (h_1, h_2, \dots, h_n)$, де $h_i \in [0,1]$ – символи гама. Шифрування методом гамування відкритого тексту, попередньо перетвореного в послідовність двійкових символів t_i , здійснюється шляхом додавання за модулем символів t_i з двійковими символами гама h_i .

$$Z = T \oplus H \quad (4)$$

Розшифрування тексту здійснюється аналогічним способом – накладанням гама H на зашифровану послідовність Z .

$$T = Z \oplus H \quad (5)$$

Стійкість шифрування методом гамування залежить від довжини гама, а також ймовірності повтору її символів. Очевидно, найстійкішим гамування буде за таких умов: всі символи гама будуть повністю випадковими, з'являтимуться в рівній ймовірності і довжина гама має бути не меншою за довжину відкритого тексту. Фактично, якщо період гама перевищує довжину всього зашифрованого тексту і невідома жодна частина вихідного тексту, то шифр можна розкрити лише шляхом прямого перебору. Криптостійкість в такому разі визначається розміром ключа. Метод гамування є неефективним, якщо зловмиснику стає відомим фрагмент вихідного тексту і відповідна йому частина шифру. За допомогою операції XOR відкривається фрагмент ПВЧ, за допомогою якої відновлюється вся послідовність.

Зашифрований текст є достатньо складним для розшифрування, якщо гама не має бітових послідовностей, які повторюються. Гама шифру має змінюватися випадковим способом для кожного слова тексту окремо, щоб розшифрування стало складною проблемою для зловмисника.

Враховуючи умови забезпечення криптостійкості шифру гамування, даний алгоритм цілком можна використовувати для захисту ЕД. Метод гамування характеризується простотою виконання – додаванням символів за модулем два, що аналогічно логічній операції XOR [9]. Відповідно, в зворотному порядку, шляхом накладання гама на зашифрований текст, стане відомою інформація, яка була зашифрованою. Тому, при розробці криптографічних систем, необхідно передбачувати можливість розсекречування, перехоплення ключа шифрування. В традиційному шифруванні методом гамування біт за бітом символи відкритого тексту додаються за модулем два з символами гама-послідовності, як показано на (рис. 3).

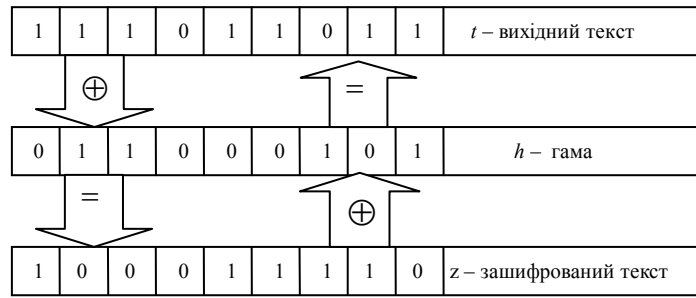


Рис. 3. Алгоритм прямого і зворотного накладання гами

З (рис. 3) видно, що шляхом додавання гами з символами зашифрованого тексту отримуємо початковий текст. Ускладнити завдання непередбаченого розшифрування даних можна шляхом модифікації шифру гамування. Суть вдосконаленого шифру гамування полягає в тому, що додавання символів відкритого тексту з випадковими числами відбувається не послідовно, як в традиційному шифруванні, а за певним принципом. Щоразу, коли в відкритому тексті, представленому у двійковій формі, зустрічається значення рівне нулю, в послідовності h відбувається зсув на один символ, тобто h_i переміщується в кінець послідовності. Потім, додавання за модулем два вже відбувається починаючи з значення біта рівного нулю з символами нової гами h' до наступного біта із значенням нуль. Випадкова послідовність буде змінюватися стільки, скільки в послідовності вихідного тексту траплятиметься двійковий символ нуль, до тих пір, поки не буде зашифрований весь текст. Схематично, суть даного методу можна представити наступним чином (рис. 4).

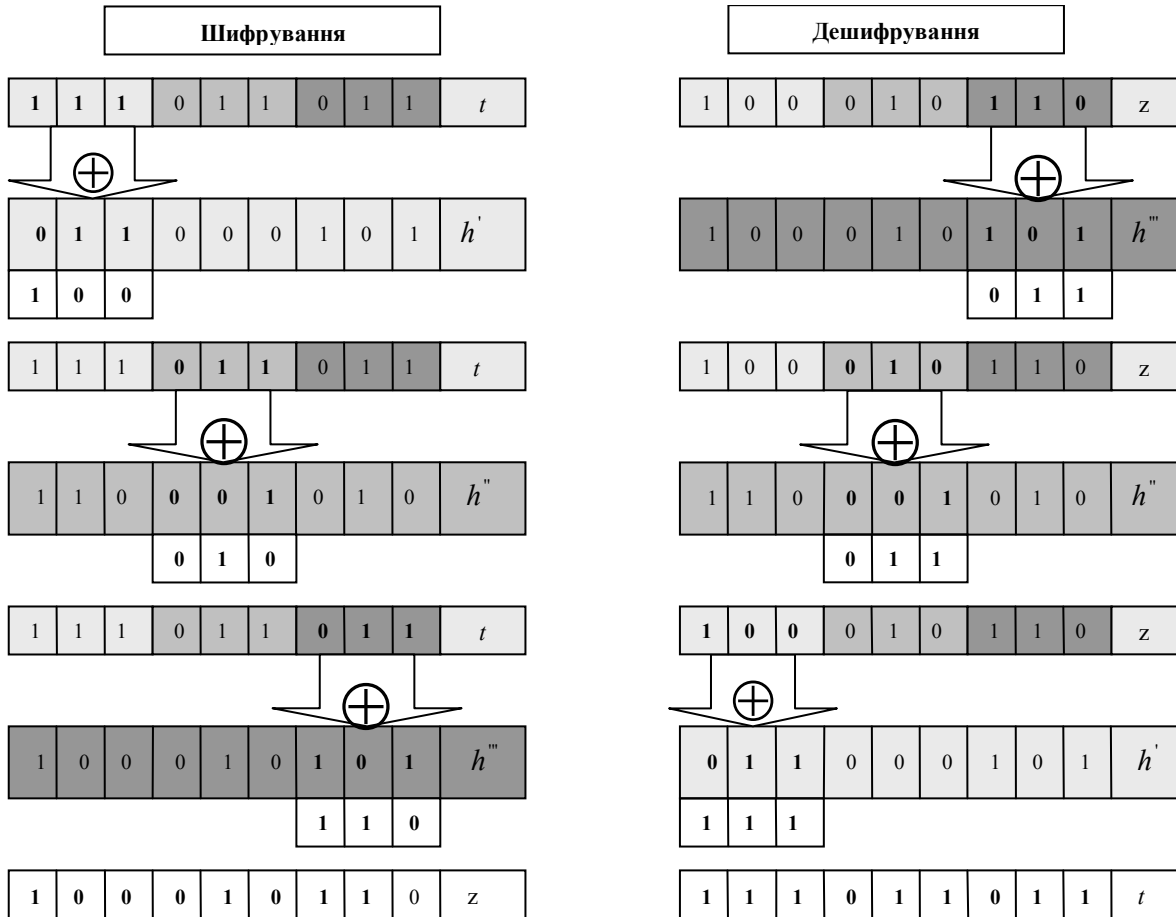


Рис. 4. Алгоритм шифрування-дешифрування модифікованим шифром гамування

З (рис. 4) видно, що четвертий біт тексту має значення рівне нулю – символи зміненої послідовності h' сумуються з символами відкритого тексту до наступного біта із значенням нуль. Знову відбувається зміщення символів шифруючої послідовності і, аналогічно, за допомогою операції суми за модулем два, символи гами додаються з символами відкритого тексту. В результаті отримуємо, зашифрований текст Z . Отриманий таким способом шифр-текст, відрізняється, від отриманого методом звичайного шифру гамування (рис. 3). З цього слідує, що зашифрована інформація стала складнішою для дешифрування, відповідно і більше захищеною.

Висновки

Активне використання технологій електронного обміну суттєво підвищило вразливість інформації, що циркулює в сучасних інформаційних системах. Криптографія залишається одним з найефективніших способів забезпечення ІБ. В статті запропонований новий метод побудови криптографічних систем з використанням вдосконаленого шифру гамування на основі випадкових чисел. Суть вдосконаленого методу полягає у зміні принципу накладання гами не послідовно, а з зміщенням символів шифруючої послідовності. Тобто, шифр, покращений за рахунок багатократного шифрування. Модифікований метод шифрування накладання гами здатний підвищити ефективність захисту ЕД. Описана концепція вдосконаленого методу шифрування може бути використана для розробки криптографічних систем захисту ЕД. Проте, не слід забувати один з фундаментальних принципів криптологічної практики, який говорить про те, що навіть складні шифри можуть бути чутливими до атак. Тому, не варто зупинятися на досягнутому, оскільки вимоги, щодо гарантування інформаційної безпеки, постійно зростають і вимагають швидкого їх вирішення.

Література

1. Штанько С. В. Криптографический протокол защиты информации в радиоканалах сетевых спутниковых систем с использованием асимметричных алгоритмов / С.В. Штанько, А.А. Корниенко // Защита информации. Информационно-управляющие системы. – 2006. – № 5. – С. 21–26.
2. Авдошин С.М. Криптографические методы защиты информационных систем / С.М. Авдошин, А.А. Савельева // Известия АИН им. А.М. Прохорова. Бизнес-информатика. – 2006. – Т. 17. – № 2 – С. 91–99.
3. Moore C. Targeting FPGA DSP slices for a large integer multiplier for integer based FHE / C. Moore, N. Hanley, J. McAllister, M. O'Neill, E. O'Sullivan // Financial Cryptography and Data Security. – Springer Berlin Heidelberg. – 2013. – P. 226–237.
4. Орлова С.И. Методика оценки эффективности поточных шифров / С.И. Орлова // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. – 2004. – № 9. – С. 141–152.
5. Бедратюк Л.П. Використання системи комп'ютерної алгебри MAPLE в класичних криптосистемах / Л.П. Бедратюк, Г.І. Бедратюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 6 (231). – С. 148–153.
6. Калмыков И.А. Разработка псевдослучайной функции повышенной эффективности / И.А. Калмыков, О.И. Дагаева // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 12(125). – С. 160–169.
7. Михерский Р.М. Шифр на основе случайных чисел с неравномерным распределением / Р.М. Михерский // Програмні системи захисту інформації ISSN 1727-4907. Проблеми програмування. – 2011. – № 4. – С. 90–95.
8. Рейзлин В.И. Новый метод шифрования с использованием последовательностей квазислучайных чисел / В.И. Рейзлин // Фундаментальные исследования. Технические науки. – 2014. – №12. – С. 505–508.
9. Козлов А.А. Сложение по модулю 2^n в блочном шифровании / А.А. Козлов, А.М. Карондеев, Силков А.А. // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 3(11). – С. 34–42.

Рецензія/Peer review : 6.3.2016 р. Надрукована/Printed :19.4.2016 р.
Рецензент : т.н., професор Рудницький В. М.

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЧИТАННЯ ЛЮДИНОЮ ТЕКСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті на основі побудованих математичних моделей різних способів читання, наприклад у системах дистанційного навчання, визначено часові параметри процесу читання як усього тексту, так і окремих фрагментів тексту. Визначено межі діапазону значень часових параметрів читання окремих фрагментів тексту. Визначено межі загального часу усього процесу читання, а отже і відповідної часової активності людини.

Ключові слова: часові параметри, часові математичні моделі читання, системи дистанційного навчання, фрагменти тексту, текстові матеріали.

V. SNIGUR

Vinnytsia National Technical University

DETERMINATION OF SENTINEL PARAMETERS OF PROCESS OF MAN'S READING OF TEXT MATERIALS

In the article on the basis of the built mathematical models of different methods of reading, for example in the controlled from distance departmental teaching the sentinel parameters of process of reading are certain as all text so separate fragments of text. The limits of range of values of sentinel parameters of reading of separate fragments of text are certain. The limits of general time of all process of reading are certain, and thus and corresponding sentinel activity of man.

Keywords: sentinel parameters, sentinel mathematical models of reading, systems of distance teaching, fragments of text, text materials.

Вступ

При визначенні параметрів процесу читання людиною будь-якого текстового матеріалу за одну спробу, наприклад у системі дистанційної освіти важливим є оцінювання не тільки кількості прочитаного матеріалу, а і часових параметрів цього процесу, що характеризують відповідну часову активність людини. При цьому можуть оцінюватися і часові інтервали активності протягом яких відбувається читання окремих фрагментів відносно великого за об'ємом тексту. На сьогоднішній день існуючі підходи отримання часових характеристик процесу читання зводяться до визначення часу протягом якого відбувається таке читання, а саме: часу читання або навчання з побудовою експоненційних, логістичних та іншого роду кривих навчання [1], часу читання окремих фрагментів тексту (ФТ) із визначенням кількості засвоєного матеріалу [2], враховується також час для різних способів читання [3–7] тощо.

Не зважаючи на відносно велику кількість досліджень у даному напрямку на теперішній час не достатньо уваги приділено врахуванню індивідуальних особливостей процесу читання, а також визначенню часових параметрів. Це не дає можливості оцінити весь процес та окремі інтервали читання ФТ “зверху” і “знизу” та відповідно визначити максимальні і мінімальні значення часових параметрів при читанні з метою подальшого їх використання, наприклад, для характеристики часової активності людини та коригування зазначеного процесу.

Постановка задачі досліджень

Метою дослідження є узагальнення існуючих підходів визначення часових параметрів читання як під час усього процесу так і читання окремих ФТ за допомогою побудови відповідних часових математичних моделей (ММ) та на основі цього визначення однотипних параметрів, що дають можливість оцінити та порівняти різні способи читання, а також характеризувати відповідну часову активність людини.

Задачами досліджень є:

- визначення часових параметрів читання окремих ФТ згідно ММ, що відповідають ідеалізованим способам читання;
- визначення меж діапазону значень часових параметрів читання окремих ФТ;
- визначення меж загального часу усього процесу читання, а отже і відповідної часової активності людини.

Основна частина

Першим із способів є такий, коли людина читає складові i ФТ за приблизно однаковий час T_{f_i} для кожного з n фрагментів (з певною похибкою, що в даному випадку не враховується), де $i=1 \dots n$. Тобто $T_{f_1} = T_{f_2} = T_{f_3} = \dots = T_{f_n}$. Нехай $T_{f_i} = T_0$. Таким чином у результаті читання тексту формується множина параметрів часу читання складових ФТ $T_f = \{T_0, T_0, T_0, \dots, T_0\}$. Тоді загальний час читання

$T_{fc} = T_{f_1} + T_{f_2} + T_{f_3} + \dots + T_{f_n} = \sum_{i=1}^n T_0 = nT_0$. Таким чином ММ, що визначає загальний час читання із рівномірним часом читання кожного з ФТ, а відповідно визначає і рівномірну часову активність людини,

може бути представлена у вигляді $T_{fc}(n) = nT_0$. Ця модель є алгебраїчною. Побудуємо у середовищі Mathcad залежності $T_{fc}(n)$ (рис. 1) для різних значень T_0 . У результаті отримаємо сімейство прямих (рис. 1),

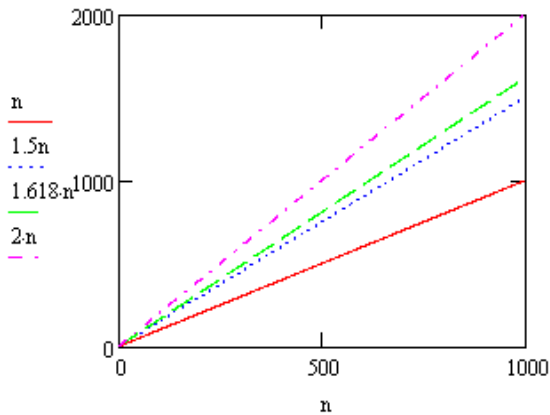


Рис. 1. Лінійні залежності $T_{fc}(n)$ для рівномірної моделі читання

Тут по вісі абсцис відкладаються значення i – номери складових фрагментів, а по вісі ординат $T_{fc}(n)$.

Другим із способів є такий, коли час читання кожного наступного фрагменту $T_{f_{i+1}}$ однаково більший за попередній T_{f_i} (з певною похибкою, що в даному випадку не враховується). Тобто час читання першого складового ФТ T_{f_1} є найменшим $T_{f_{min}}$. Нехай $T_{f_1} = T_{f_{min}} = T_0$. При цьому $T_{f_{i+1}} > T_{f_i}$. Тоді $T_0 H_{f_{i+1}} > T_0 H_{f_i}$, де $H_{f_i} = \frac{T_{f_i}}{T_0}$ – коефіцієнти пропорційності для часу

читання складових фрагментів тексту. Для другого елемента, коли $i=2$, нерівність буде мати вигляд $T_0 H_{f_2} > T_0 H_{f_1}$. А значення H_{f_1} визначається як $H_{f_1} = \frac{T_{f_1}}{T_0} = \frac{T_0}{T_0} = 1$. Сформуємо множину після читання людиною n ФТ

$$H_f = \left\{ H_{f_1}, H_{f_2}, H_{f_3}, \dots, H_{f_n} \right\}.$$

Її елементи $H_{f_{i+1}} > H_{f_i}$, тобто відрізняються між собою у K_i разів $H_{f_{i+1}} = K_i \cdot H_{f_i}$, де $K_i > 1$. Якщо значення K_i для всіх H_{f_i} є однаковими, тоді $T_{f_i} = T_0 \cdot H_{f_i}$, $H_{f_{i+1}} = K \cdot H_{f_i}$,

$T_{f_{i+1}} = T_0 \cdot H_{f_{i+1}} = T_0 \cdot K \cdot H_{f_i}$. З урахуванням цього

$$T_{f_1} = K^0 \cdot H_{f_1} \cdot T_0 = T_0 \cdot K^0,$$

$$T_{f_2} = K^0 \cdot H_{f_2} \cdot T_0 = T_0 \cdot K^1 \cdot H_{f_1} = T_0 \cdot K^1,$$

$$T_{f_3} = K^0 \cdot H_{f_3} \cdot T_0 = K^1 \cdot H_{f_2} \cdot T_0 = K^2 \cdot H_{f_1} \cdot T_0 = T_0 K^2,$$

$$T_{f_4} = K^0 \cdot H_{f_4} \cdot T_0 = K^1 \cdot H_{f_3} \cdot T_0 = K^2 \cdot H_{f_2} \cdot T_0 = K^3 \cdot H_{f_1} \cdot T_0 = T_0 K^3,$$

...

$$T_{f_n} = K^0 H_{f_n} \cdot T_0 = K^1 \cdot H_{f_{n-1}} \cdot T_0 = K^{n-2} \cdot K \cdot H_{f_{n-2}} \cdot T_0 = \dots = K^{n-1} H_{f_1} T_0 = T_0 K^{n-1}.$$

А загальний час читання ФТ

$$T_{fc} = T_0 K^0 + T_0 \cdot K^1 + T_0 \cdot K^2 + \dots + T_0 \cdot K^{n-1} = \sum_{i=0}^n T_0 \cdot K^i = \sum_{i=0}^{n-1} T_0 \cdot K^i.$$

Таким чином ММ для нерівномірного часу читання, а саме більшим однаковим часом читання кожного наступного складового ФТ, що описує нерівномірну часову активність людини може бути представлена у вигляді $T_{fc}(n) = \sum_{i=0}^{n-1} T_0 \cdot K^i$, де $K_i > 1$. Ця модель є алгебраїчною. Побудуємо у середовищі Mathcad залежності $T_{fc}(n)$ при $T_0 = 1$ хвилина (60 секунд) та різних значень K для різних читання. У результаті отримано сімейство гіперболічних кривих (рис. 2),

Тут по вісі абсцис відкладаються значення i – номери складових фрагментів, а по вісі ординат

$T_{fc}(n)$.

Третім із способів є такий, що час читання кожного наступного фрагменту $T_{f_{i+1}}$ однаково менший за i -й попередній T_{f_i} (з певною похибкою, що в даному випадку не враховується). Тобто час читання останнього n -го складового ФТ T_{f_n} є найменшим $T_{f_n} = T_{f_{min}} = T_0$, а $T_{f_{i+1}} < T_{f_i}$. При цьому $T_0 H_{f_{i+1}} < T_0 H_{f_i}$. Для двох останніх фрагментів, нерівність буде мати вигляд $T_0 H_{f_{n-1}} > T_0 H_{f_n}$, де

$H_{f_i} = \frac{T_{f_i}}{T_0}$ – коефіцієнти пропорційності для часу читання складових фрагментів тексту. А значення

$H_{f_n} = \frac{T_{f_n}}{T_0} = \frac{T_0}{T_0} = 1$. Сформуємо множину після

читання n фрагментів $H_f = \{H_{f_1}, H_{f_2}, H_{f_3}, \dots, H_{f_{n-1}}, H_{f_n}\}$. Її елементи $H_{f_{i+1}} < H_{f_i}$, тобто відрізняються між собою у K_i разів $H_{f_{i+1}} = K_i \cdot H_{f_i}$, де $K_i < 1$. Якщо значення K_i для всіх H_{f_i} є однаковими, тоді $H_{f_{i+1}} = K \cdot H_{f_i}$, $T_{f_i} = T_0 \cdot H_{f_i}$, $T_{f_{i+1}} = T_0 \cdot H_{f_{i+1}} = T_0 \cdot K \cdot H_{f_i}$. З урахуванням цього

$$T_{f_n} = K^0 \cdot H_{f_n} \cdot T_0 = T_0 \cdot K^0, T_{f_{n-1}} = K^0 \cdot H_{f_{n-1}} \cdot T_0 = T_0 \cdot K^1 \cdot H_{f_n} = T_0 \cdot K^1,$$

$$T_{f_{n-2}} = K^0 \cdot H_{f_{n-2}} \cdot T_0 = K^1 \cdot H_{f_{n-1}} \cdot T_0 = K^2 \cdot H_{f_n} \cdot T_0 = T_0 K^2,$$

$$T_{f_{n-3}} = K^0 \cdot H_{f_{n-3}} \cdot T_0 = K^1 \cdot H_{f_{n-2}} \cdot T_0 = K^2 \cdot H_{f_{n-1}} \cdot T_0 = K^3 \cdot H_{f_n} \cdot T_0 = T_0 K^3,$$

...

$$T_{f_1} = K^0 H_{f_1} \cdot T_0 = K^1 \cdot H_{f_2} \cdot T_0 = K^2 \cdot H_{f_3} \cdot T_0 = \dots = K^{n-2} H_{f_{n-1}} \cdot T_0 = T_0 K^{n-1}.$$

А загальний час читання ФТ

$$T_{fc} = T_0 K^0 + T_0 \cdot K^1 + T_0 \cdot K^2 + \dots + T_0 \cdot K^{n-1} = \sum_{i=0}^{n-1} T_0 \cdot K^i.$$

Таким чином математична модель читання із нерівномірним часом читання, а саме меншим однаковим часом читання кожного наступного складового ФТ, що характеризує нерівномірну часову активність людини, може бути представлена у вигляді $T_{fc}(n) = \sum_{i=0}^{n-1} T_0 \cdot K^i$, де $K < 1$. Ця модель є алгебраїчною. Побудуємо у середовищі Mathcad залежності $T_{fc}(n)$ для $T_0 = 1$ хвилина (60 секунд) та різних значень K для різних спроб читання. У результаті отримаємо сімейство кривих (рис. 3),

Тут по вісі абсцис відкладаються значення i – номери складових фрагментів, а по вісі ординат $T_{fc}(n)$.

Четвертим із способів читання є такий коли людина читає кожний i -й ФТ з загальної кількості n за різний час. Це означає, що описані вище значення K_i для всіх H_{f_i} є різними, тоді

$$T_{f_i} = T_0 \cdot H_{f_i}, H_{f_{i+1}} = K_i \cdot H_{f_i}, T_{f_{i+1}} = T_0 \cdot H_{f_{i+1}} = T_0 \cdot K_i \cdot H_{f_i},$$

де $T_{f_l} = T_0 = T_{f_{min}} = \min\{T_{f_1}, T_{f_2}, T_{f_3} \dots T_{f_n}\}$

для певного значення l з інтервалу $1 \dots n$. Нехай $H_{f_1} = K_0$. З урахуванням цього

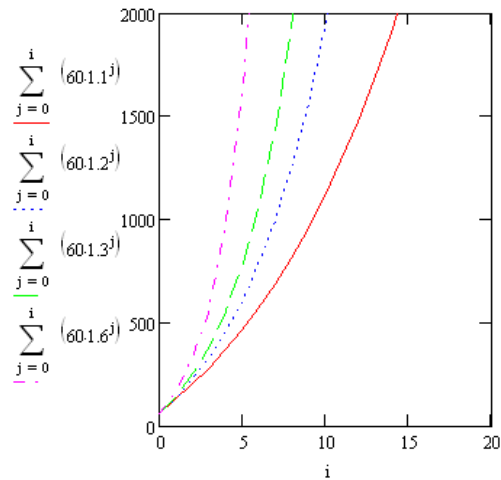


Рис. 2. Залежності $T_{fc}(n)$ для моделі із нерівномірним часом читання при $K > 1$

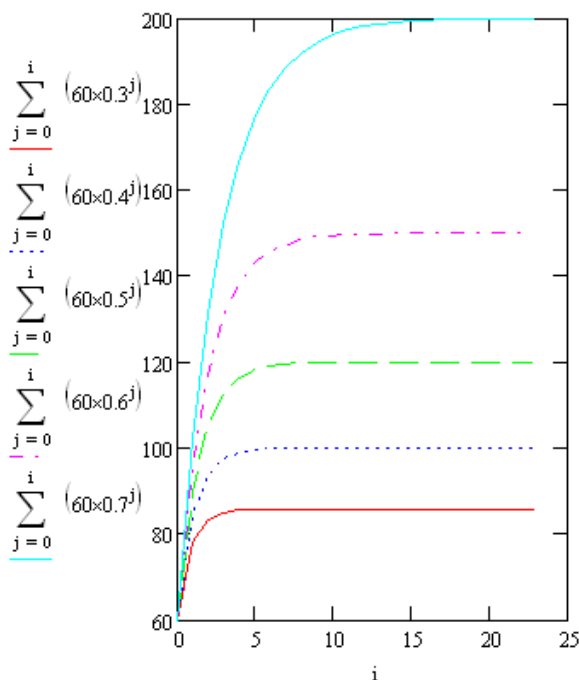


Рис. 3. Залежності $T_{fc}(n)$ для моделі із нерівномірним часом читання при $K < 1$

$$T_{f_1} = H_{f_1} \cdot T_0 = T_0 \cdot K_0, T_{f_2} = H_{f_2} \cdot T_0 = T_0 \cdot K_1 \cdot H_{f_1} = T_0 \cdot K_0 \cdot K_1,$$

$$T_{f_3} = H_{f_3} \cdot T_0 = K_2 \cdot H_{f_2} \cdot T_0 = K_2 \cdot K_1 \cdot H_{f_1} \cdot T_0 = T_0 K_0 K_1 K_2,$$

$$T_{f_4} = H_{f_4} \cdot T_0 = K_3 \cdot H_{f_3} \cdot T_0 = K_3 \cdot K_2 \cdot H_{f_2} \cdot T_0 = K_3 \cdot K_2 \cdot K_1 \cdot H_{f_1} \cdot T_0 = T_0 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

...

$$T_{f_n} = H_{f_n} \cdot T_0 = K_{n-1} \cdot H_{f_{n-1}} \cdot T_0 = K_{n-1} \cdot K_{n-2} \cdot H_{f_{n-2}} \cdot T_0 = \dots = T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i.$$

А загальний час читання ФТ

$$T_{fc} = T_0 K_0 + T_0 \cdot K_0 \cdot K_1 + T_0 K_0 K_1 K_2 + \dots + T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i = \sum_{j=0}^n (T_0 \cdot \prod_{i=0}^{j-1} K_i).$$

Таким чином математична модель читання із нерівномірним часом читання, а саме будь-яким різним часом читання кожного наступного складового ФТ, що відображає відповідну нерівномірну часову активність людини, може бути представлена у вигляді $T_{fc}(n) = \sum_{j=0}^n (T_0 \cdot \prod_{i=0}^{j-1} K_i)$, де для різних значень K_i , цей показник може бути $K_i > 1$ або $K_i < 1$. Побудуємо у середовищі Mathcad залежності $T_{fc}(n)$ для даної моделі (рис 4).

Тут по вісі ординат відкладаються значення $T_{fc}(n)$, а по а по вісі абсцис i – номери складових ФТ.

Занесемо результати визначення часових меж читання окремих ФТ для чотирьох часових моделей до таблиці 1, що у свою чергу будуть визначати межі відповідної часової активності людини.

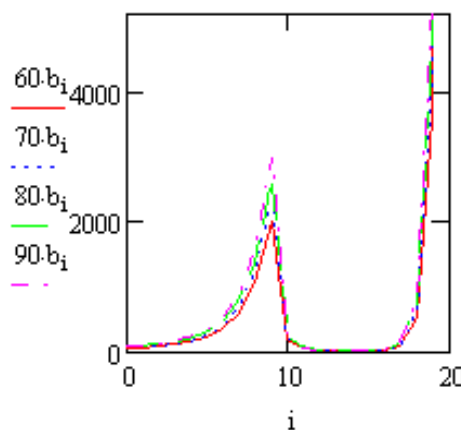


Рис. 4. Графік змінення значень $T_{fc}(n)$ для $K_i > 1$ або $K_i < 1$ для довільних i

Часові межі читання ФТ

№№ п/п	Часова модель	Нижня межа (мінімальне значення) $T_{fc\ min}$	Верхня межа (максимальне значення) $T_{fc\ max}$
1	$T_{fc}(n) = nT_0$	$T_{fc\ min} = T_0$	$T_{fc\ max} = T_0$
2	$T_{fc}(n) = \sum_{i=0}^{n-1} T_0 \cdot K^i, K^{n-1} > 1$	$T_{fc\ min} = T_{fc}(0) \cdot K^0 = T_0$	$T_{fc\ max} = T_0 \cdot K^{n-1}$
3	$T_{fc}(n) = \sum_{i=0}^{n-1} T_0 \cdot K^i, K^{n-1} < 1$	$T_{fc\ min} = T_{fc}(0) \cdot K^{n-1} = T_0 \cdot K^{n-1}$	$T_{fc\ max} = T_{fc}(0) \cdot K^0 = T_0$
4	$T_{fc}(n) = \sum_{j=0}^n (T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i), K_i = \forall$	$T_{fc\ min} = \min \left\{ T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i \right\}$	$T_{fc\ max} = \max \left\{ T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i \right\}$

Протягом процесу читання відносно великого за обсягом тексту способи за яким здійснюється таке читання можуть змінюватись, що у свою чергу може відповідати різним ММ, а відповідно і різній часовій активності людини. Виходячи з наведених вище рівнянь у таблиці визначимо загальну нижню межу часу читання людиною ФТ. Такі межі будуть відповідати мінімальним та максимальним значенням $T_{fc}(n)$, обчисленим для сукупності тих ММ згідно яких відбувається читання. Визначимо загальну нижню межу часу читання для всіх розглянутих ММ. Для цього з вказаних рівнянь для всіх ММ визначимо мінімальне значення серед інших значень $T_{fc\ min}$. Для першої та другої моделей при однакових $T_{fc}(0)$ мінімальні значення $T_{fc\ min}$ збігаються. Для другої та третьої моделей $T_{fc\ min}$ також при однакових $T_{fc}(0)$ визначається на основі нерівності $T_0 \cdot K^{n-1} < T_0$, при $K^{n-1} < 1$. Отже при порівнянні першої, другої та третьої моделей мінімальне значення $T_{fc\ min}$ отримується для третьої моделі.

Для третьої та четвертої моделей порівняємо значення $T_{fc}(n)$ при однакових $T_{fc}(0)$, а саме порівняємо $T_0 \cdot K^{n-1}$ та $T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i$, при $K^{n-1} < 1$ та $K_i > 1$ або $K_i < 1$ для різних значень i . Для четвертої моделі значення добутоків $T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i$ можуть бути різними, що у свою чергу залежить від значень K_i , які для різних випадків читання різних ФТ можуть бути також різними. Отже мінімальне значення $T_{fc\ min}$ для третьої та четвертої моделей буде визначатися для конкретних випадків читання із отриманими значеннями K_i . Таким чином нижня межа для всіх чотирьох моделей буде визначатися як мінімальне значення $T_{fc\ min}$ для третьої та четвертої моделей.

Також на основі наведених вище рівнянь у таблиці визначимо загальну верхню межу часу читання людиною ФТ для всіх розглянутих ММ. Для цього з вказаних рівнянь для всіх ММ визначимо максимальне значення серед інших значень $T_{fc\ max}$. Для першої та другої моделей при однакових $T_{fc}(0)$ воно визначається на основі нерівності $T_0 < T_0 \cdot K^{n-1}$, при $K^{n-1} > 1$. Для другої та третьої моделей також при однакових $T_{fc}(0)$ воно визначається на основі нерівності $T_0 \cdot K^{n-1} > T_0$, при $K^{n-1} > 1$. Отже при порівнянні першої, другої та третьої моделей максимальне значення $T_{fc\ max}$ отримується для другої моделі. Для другої та четвертої моделей порівняємо значення $T_{fc}(n)$ при однакових $T_{fc}(0)$, а саме порівняємо $T_0 \cdot K^{n-1}$ та $T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i$, при $K^{n-1} > 1$ та $K_i > 1$ або $K_i < 1$ для різних значень i . Для четвертої моделі значення добутоків $T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i$ можуть бути різними, що залежить від значень K_i , які для

різних випадків читання різних ФТ. Отже максимальне значення $T_{fc\ max}$ для другої та четвертої моделей буде визначатися для конкретних випадків читання із отриманими значеннями K_i . Таким чином верхня межа для всіх чотирьох моделей буде визначатися як максимальне значення $T_{fc\ max}$ для другої та четвертої моделей.

На основі наведених вище верхніх та нижніх меж читання за всіма розглянутими ММ, визначимо границі часового діапазону читання ФТ. Значення $T_{fcd\ min}$ та $T_{fcd\ max}$, які описують відповідно нижню та верхню границі діапазону у свою чергу залежать від значень K_i , K^{n-1} та $T_{fc}(0)$. Нижня межа діапазону

$$T_{fcd\ min} = \min \left\{ T_0 \cdot K^{n-1}, T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i \right\}, \text{ при } K^{n-1} < 1 \text{ та } K_i > 1 \text{ або } K_i < 1 \text{ для різних значень } i.$$

Верхня межа $T_{fcd\ max} = \max \left\{ T_0 \cdot K^{n-1}, T_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} K_i \right\}$, при $K^{n-1} > 1$ та $K_i > 1$ або $K_i < 1$ для різних значень i .

Висновки

Отже, на основі отриманих вище ММ можна визначити: часові параметри читання окремих ФТ, що описують рівномірний та нерівномірний способи читання; межі змінення діапазону часових параметрів читання окремих ФТ, а отже і часову активність людини відповідно за максимальним та мінімальним таким часом читання, що відповідають значенням $T_{fc\ min}$ та $T_{fc\ max}$; межі часового діапазону усього процесу читання ФТ за параметрами $T_{fcd\ min}$ та $T_{fcd\ max}$. Перераховані вище ММ читання та параметри узагальнюють існуючі ММ та відповідні параметри, оцінюючи весь процес читання “зверху” і “знизу” та окремих складових ФТ як окремих людей так і певних груп людей, що можна в подальшому використовувати, наприклад, для коригування такого процесу читання та адаптування його згідно індивідуальних особливостей людини.

Література

1. Новиков Д. А. Закономерности итеративного научения / Новиков Д. А. – М. : Институт проблем управления РАН, 1998. – 77 с.
2. Соловов А. В. Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология / Соловов А. В. – Самара : “Новая техника”, 2006. – 462 с. : ил.
3. Coltheart M. Dual route and connectionist models of reading: an overview / M. Coltheart // London Review of Education. – 2006. – Vol. 4(1). – P. 5–17.
4. Новиков А.М. Анализ количественных закономерностей процесса упражнения. Методические рекомендации / Новиков А.М. – М. : Высшая школа, 1976. – 22 с.
5. Harm M.W. Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes / Harm M.W., Seidenberg M.S. // Psychological Review. – 2004. – № 111. P. 662–720.
6. Taylor E.A. The Fundamental Reading Skill / Taylor E.A. // Journal of Developmental Reading. – 1958. – 4. Vol. 1. – P.21–30.
7. Каинова Э. Б. Критерии качества образования: основные характеристики и способы измерения / Каинова Э. Б. – М. : АПКИППРО, 2005. – 80 с.

Рецензія/Peer review : 7.4.2016 р. Надрукована/Printed :18.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Перевозніков С. І.

РОЗРОБКА ДИСТРИБУТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ВІДБИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У роботі запропоновано нову дистрибутивну функцію відбивної здатності поверхні, яка забезпечує високу точність відтворення як епіцентру відблиску, так і його зони затухання. Функція має значно меншу ступінь порівняно з моделями Фонга та Бліна. Для розрахунку функції використовуються нормалізовані вектори до джерела світла, спостерігача та нормаль до поверхні. Запропоновано структурну схему для визначення спекулярної складової кольору з використанням запропонованої дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні. Результати роботи можуть бути використані у високопродуктивних системах формування реалістичних графічних зображень

Ключові слова: рендеринг, спекулярна складова кольору, дистрибутивна функція відбивної здатності.

S.V. PAVLOV, S.O. ROMANYUK

Vinnitsia National Technical University

V.P. DUMENKO

Vinnitsia State Pedagogical University by M. Kotsyubinsky

DEVELOPMENT OF DISTRIBUTION FUNCTION REFLECTIVITY SURFACE CAPACITY FOR BIOMEDICAL IMAGING

The paper proposed a new a distribution function reflectivity surface that provides high fidelity as the epicentre of the flare and its attenuation zone. The function has a much smaller degree compared with models Phong and Blyn. To calculate the normalized feature vectors used to the light source, observer and normal to the surface. A structural diagram to determine the specular colour component of the proposed distributive function reflectivity of the surface. The results can be used in high-performance systems forming realistic graphic images.

Keywords: rendering, specular component of colour, reflectivity distributive function.

Вступ

Комп'ютерна графіка динамічно розвивається у напрямку реалістичної візуалізації тривимірних біомедичних зображень у режимі реального часу. Її засоби допомагають вирішувати широке коло завдань інтерактивного проектування, автоматизованого навчання, контролю технологічних параметрів, теоретичних і прикладних біомедичних досліджень. Сьогодні графічні сцени характеризуються великою геометричною складністю [1, 2], тому їх формування в режимі реального часу вимагає високої швидкодії.

Теоретичні дослідження останніх років значною мірою були направлені на поєднання двох генеральних напрямів розвитку комп'ютерної графіки – забезпечення необхідної динаміки зображень і підвищення їх реалістичності [1–4].

Однією з найбільш трудомістких процедур рендерингу є розрахунок спекулярної складової кольору, оскільки передбачає використання складних, з обчислювальних точки зору, моделей відбивної здатності поверхонь. Тому розробка нової моделі, яка забезпечує прийнятний компроміс між реалістичністю та продуктивністю є актуальною задачею.

Аналіз публікацій та постановка задачі

Для відтворення відбивних властивостей поверхонь найчастіше використовують моделі на основі двопрменевої функції відбивної здатності поверхні (ДФВЗ) [1–6], яка визначає, яку частку випромінювання, що надійшло в точку з напрямку джерела світла, буде відбито в напрямку спостерігача.

На даному етапі розвитку комп'ютерної графіки найпоширенішими є моделі, які використовують корпускулярну теорію світла [1, 3, 4], оскільки вони забезпечують прийнятну реалістичність відтворення об'єктів при відносно невеликій обчислювальній складності. Більш точні моделі, які враховують як корпускулярну, так і хвильову природу світла використовують, як правило, в графічних системах високої реалістичності. Такі моделі багатопараметричні, що суттєво обмежує їх використання для формування динамічних зображень. Так, наприклад, модель Хі [1, 3, 4], включає та враховує 15 параметрів і враховує ефекти дифракції та інтерференції. Трудомісткість обчислень суттєво обмежує її використання в системах реального часу.

Фізично точні моделі [1, 3–5] (ДФВЗ Уорда, Орена-Найара Торренса-Сперроу) базується на детальному аналізі процесу відбиття світла від поверхонь, яку замінюють сукупністю великої кількості мікроскопічних дзеркально відбивних площадок (фасетне подання поверхні).

Фізично точні моделі [3–5], які враховують фасетну структуру поверхні та хвильову теорію світла, доцільно використовувати при жорстких вимогах до реалістичності, оскільки їх розрахунок вимагає великих затрат часу.

У засобах комп'ютерної графіки найбільшого оцирення отримали прості з обчислювальної точки зору моделі, які забезпечують компроміс між достатньо високою реалістичністю та продуктивністю.

До таких моделей відносять моделі Фонга, Бліна, Шліка, Гауса [1, 5].

При використанні моделі освітлення Фонга [1] інтенсивність спекулярної складової світла

визначається за формулою

$$I_s = I \cdot k_s \cdot \cos^n \gamma,$$

де γ – кут між векторами спостерігача \vec{V} і відбитого світла \vec{R} (рис. 1), n – коефіцієнт спекулярності поверхні, k_s – коефіцієнт спекулярного відбиття, який визначає питому вагу спекулярного світла в загальному відбитому світлі, I – інтенсивність джерела світла між векторами нормалей спостерігача \vec{L} і вектором $\vec{H} = (\vec{L} + \vec{V}) / |\vec{L} + \vec{V}|$. Вектор \vec{H} отримують шляхом нормалізації вектора, який є діагоналлю ромба, утвореного при додаванні векторів \vec{L} і \vec{V} .

У сучасних засобах тривимірної графіки широкого поширення отримала дистрибутивна функція Шліка [1], яка має такий вигляд:

$$\cos \gamma / (n - n \cos \gamma + \cos \gamma). \quad \text{ДФВЗ}$$

Шліка має меншу обчислювальну складність порівняно з функціями Фонга та Бліна, однак наявність операції ділення значно ускладнює апаратну реалізацію функції. Крім того, при відтворенні блюмінгу за моделлю Шліка має місце неприродне освітлення поверхонь графічного біомедичного об'єкта.

У моделі освітлення Бліна [1, 3–5] замість $\cos^n \gamma$ використовують $\cos^n \psi$, де ψ – кут

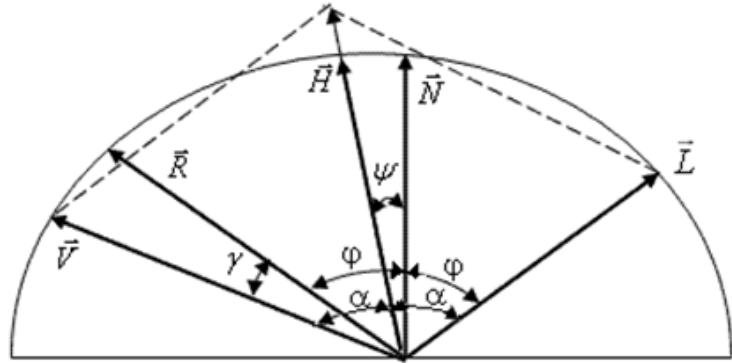


Рис. 1. Визначення параметрів для дистрибутивних функцій

Для відтворення рефлекторних властивостей поверхні бажано розробити таку модель, обчислювальна складність якої не залежала б від коефіцієнта спекулярності поверхні. Проста апаратна реалізація ДФВЗ можлива при використанні поліномів низького степеня за умови, що при розрахунку не використовують складні функції та довготривалі операції, які мають місце для відомих підходів.

У системах відображення біомедичної інформації часто необхідно відобразити сцену з високою реалістичністю, особливо при прийнятті кінцевого рішення. В цьому випадку висуваються жорсткі умови до точності відтворення як дифузної, так і спекулярної складових кольору.

При формуванні спекулярної складової кольору вимоги реалістичності та продуктивності залежать у значній мірі від моделі відбивної здатності поверхні. Мета статті – розробка нової моделі на основі ДФВЗ, яка порівняно з моделлю Бліна має меншу степінь, і, як наслідок, меншу обчислювальну складність. При цьому забезпечується висока точність відтворення спекулярної складової кольору.

Розробка дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні біомедичних об'єктів

Розглянемо один із методів знаходження дистрибутивної функції для відтворення в графічних сценах спекулярної складової кольору.

В якості утворюючої виберемо функцію [6] $G(n, \gamma) = (\tau \cdot (\cos \gamma - 1) + 1)^m$.

Вибір такої функції має таке обґрунтування.

$G(n, \gamma)$ є додатною функцією, яку можна знайти через скалярний добуток векторів, що задаються для розрахунку інтенсивності кольору. Функція на проміжку $0 \leq \gamma \leq \pi/2$ є монотонно спадною та досягає нульового значення. Максимальні значення функцій Бліна і $G(n, \gamma)$ дорівнюють одиниці при $\gamma = 0$.

Функція $\cos^n \gamma = 0$ при $\gamma = \frac{\pi}{2}$.

Знайдемо інтеграл

$$\int_0^{\pi/2} \cos^n \gamma \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma = \frac{\cos^{n+1} \gamma}{n+1} \Big|_0^{\pi/2} = \frac{1}{n+1}.$$

Використаємо як утворюючу функцію $\cos^n \gamma$

$$(a \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1)^{2^v}$$

Використання як степеню значення 2^v можна обґрунтувати простотою програмної та апаратної реалізації. З рівняння $(a \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1)^{2^v}$ знаходимо, що наведена дистрибутивна функція досягає нульового значення при

$$\gamma = \arccos\left(\frac{a-1}{a}\right).$$

Знайдемо інтеграл

$$\int_0^{ar \cos(\frac{a-1}{a})} (a \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1)^{2^\nu} \cdot \sin(\gamma) d\gamma = \frac{1}{(2^\nu + 1) \cdot a} .$$

Прирівняємо значення двох останніх знайдених інтегралів.

$$\frac{1}{(2^\nu + 1) \cdot a} = \frac{1}{n + 1} .$$

З останнього рівняння знаходимо, що

$$a = \frac{n + 1}{2^\nu + 1} .$$

Підставивши значення a в утворюючу функцію, отримаємо

$$K_\nu(n, \gamma) = \left(\frac{n + 1}{2^\nu + 1} \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1 \right)^{2^\nu} .$$

Для $\nu = 4$

$$K_4(n, \gamma) = \left(\frac{n + 1}{17} \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1 \right)^{16} .$$

Проаналізуємо отриману функцію.

На рис. 2, для зразка, наведено графіки зміни абсолютної похибки апроксимації функції $\cos^n \gamma$

функціями $K_4(n, \gamma)$ і $G_4(n, \gamma) = \left(\frac{n}{16} \cdot (\cos \gamma - 1) + 1 \right)^{16}$ [6] для $n = 100$. З наведеного графіка видно, що

максимальна відносна похибка для $K_4(n, \gamma)$ менша порівняно з $G_4(n, \gamma)$. Це досягається за рахунок симетрування абсолютної похибки на інтервалі зміни аргументу.

Проаналізуємо отриману функцію

$$K_4(n, \gamma) = \left(\frac{n + 1}{17} \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1 \right)^{16} .$$

Слід відзначити, що функція $G_4(n, \gamma)$ більш точно відтворює епіцентр відблиску, а функція $K_4(n, \gamma)$ – його блюмінг. На рис. 3 наведено графіки зміни абсолютної похибки апроксимації функції $\cos^n \gamma$ функціями $K_4(n, \gamma)$ і $G_4(n, \gamma)$ для всього діапазону зміни γ .

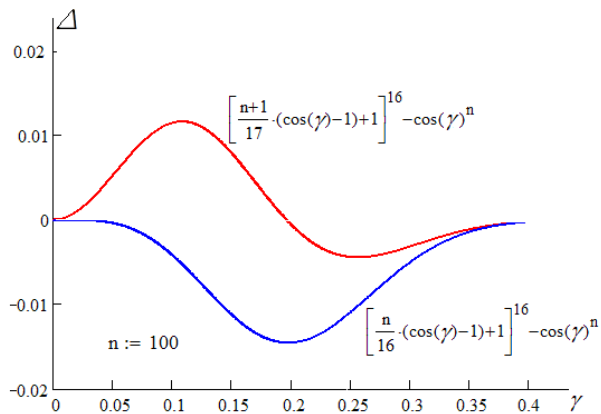


Рис. 2. Графіки зміни абсолютної похибки апроксимації функції $\cos^n \gamma$ функціями $K_4(n, \gamma)$ і $G_4(n, \gamma)$ для $n = 100$.

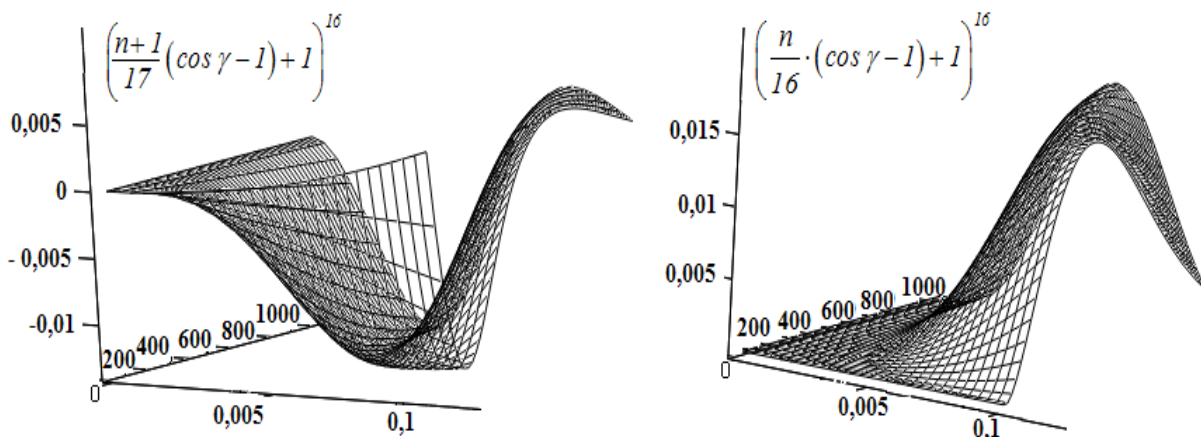


Рис. 3. Графіки зміни абсолютної похибки апроксимації функції $\cos^n \gamma$ функціями $K_4(n, \gamma)$ і $G_4(n, \gamma)$

Розроблена функція порівняно з ДФВЗ Фонга і Бліна має значно меншу степінь.

Для порівняння максимальна степінь у функцій Фонга і Бліна дорівнює 1000, в той час, як у $K_4(n, \gamma)$ - 16. Сталість степені для запропонованої функції спрощує апаратну реалізацію пристроїв для відтворення спекулярної складової кольору.

На рис 4 наведено пристрій для визначення спекулярної складової кольору, у якому

використовується запропонована функція $K_4(n, \gamma)$.

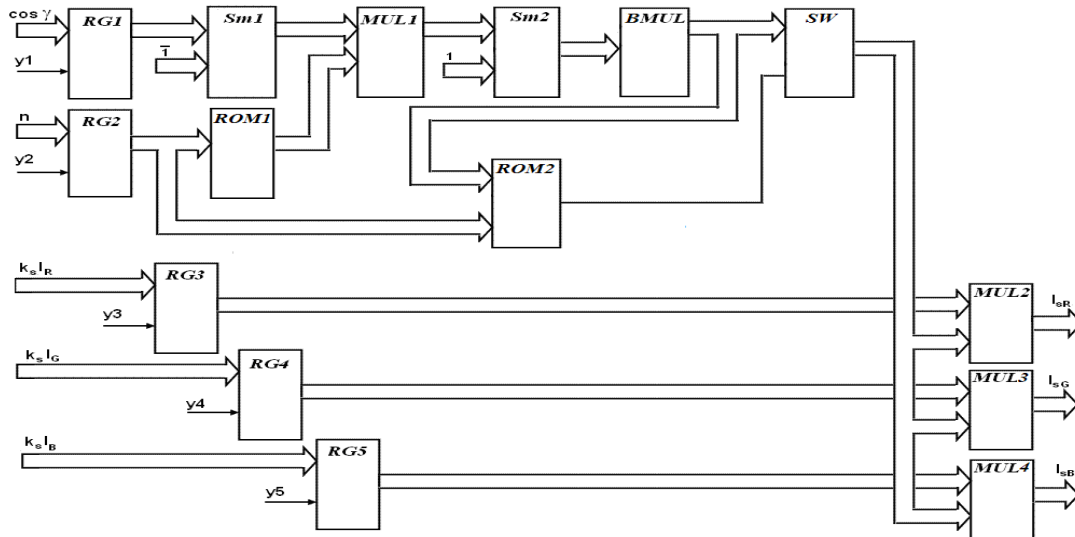


Рис. 4 Пристрій для відтворення спекулярної складової кольору

Пристрій, включає регістри $RG1-RG5$, блоки множення $MUL1-MUL4$, блоки постійної пам'яті $ROM1, ROM2$, суматори $Sm1, Sm2$, блок ключів SW , каскадний блок множення $BMUL$.

У регістри $RG1, RG2$ записуються відповідно $\cos(\gamma)$ і коефіцієнт n . На виході суматора $Sm1$, який працює в режимі віднімача, формується значення $(\cos(\gamma)-1)$, яке перемножується з операндом $\frac{n+1}{2^v+1}$. Ці значення для кожного n зберігаються в блоці постійної пам'яті $ROM1$. На виході суматора

$Sm1$ знаходять значення $\frac{n+1}{2^v+1} \cdot (\cos(\gamma)-1)$, до якого в суматорі $Sm2$ додається одиниця. На виході каскадного блока множення $BMUL$ отримують значення дистрибутивної функції, яке перемножується зі значеннями $k_s I_R, k_s I_G, k_s I_B$, для отримання складових інтенсивності спекулярної складової кольору.

Висновки

Запропонована нова модель відбивної здатності поверхні біомедичних об'єктів, яка на відміну від моделей Фонга та Бліна мають меншу обчислювальну складність і з високою точністю відтворює як епіцентр відблиску, так і його зону затухання.

Література

- Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів : монографія / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. – Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. — 190 с.
- Обідник М.Д. Метод розпаралелення рендерингу та засоби для його реалізації / М.Д. Обідник, С.О. Романюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2013. — С. 112—118.
1. Matt Pharr. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation / Pharr Matt, Humphreys Greg. — Morgan Kaufmann, July, 2010. — 1020 p.
 2. Marschner Steve. Fundamentals of Computer Graphics/Steve Marschner, Peter Shirley. — A K Peters, 2015. — 748 p.
 3. Романюк О. Н. Класифікація дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні / О. Н. Романюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка». — 2008. — Випуск 9 (132). — С. 145—151.
 4. Павлов С.В. Модель для відтворення спекулярної складової кольору в засобах комп'ютерної графіки / С. В. Павлов, С. О. Романюк, О. Н. Романюк, О. В. Мельник // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2015. — № 3. — С. 50—57.
 5. Romanyuk S.O. New method to control color intensity for antialiasing / S.O Romanyuk, S.V Pavlov, O.V Melnyk // Control and Communications (SIBCON), 2015 International Siberian Conference on 2015/5/DOI: 10.1109/SIBCON.2015. 7147194 INSPEC Accession Number: 15287679.
 6. Avrunin Oleg G. Classification of CT-brain slices based on local histograms / Oleg G. Avrunin, Maksym Y. Tymkovych, Sergii V. Pavlov, Sergii V. Timchik, Piotr Kisała, Yerbol Orakbaev // Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161J (December 18, 2015).

Рецензія/Peer review : 11.2.2016 р.

Надрукована/Printed :19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Троцишин І.В.

ФУНКЦІОНАЛЬНІ СТРУКТУРИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОДНОРІДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Автоматизація технологічних процесів агропромислового комплексу традиційно здійснюється за допомогою систем, створених на основі єдиних вихідних вимог, які характеризують окремі об'єкти управління, а не їх множини, які мають різний склад функціональних вимог, що часто створює функціональну надмірність. Для розв'язання задачі запропоновано інтегральний метод, ідея якого полягає в тому, що множини однорідних об'єктів керування, ранжуються на підмножини з рівним складом вимог до об'єктів всередині підмножин. Кожна підмножина характеризується інтегральним складом вимог, який враховує кількісний склад об'єктів, що входять до підмножин та функціональні вимоги до них. Інтегральний склад множин ООУ дорівнює сумі інтегральних складів окремих підмножин. Декомпозиція повного складу вимог ООУ дає три види функціональної структури системи:

- 1) гнучка (ГСД) на основі базового модуля (БМ) і ряду додаткових (ДМ, ДМ2, ДМ3);
- 2) гнучка (ГСС) на базі спеціалізованих модулів (СМ1, СМ2, СМ3, СМ4);
- 3) жорстка (ЖС) на базі єдиного функціонального модуля на ієрархічний рівень (ЖС).

Ключові слова: синтез, функціональні структури, множини, однорідні об'єкти, оптимізація, автоматизація.

M. STADNIK

Vinnitsia National Agrarian University

THE FUNCTIONAL STRUCTURE OF AUTOMATION SYSTEMS OF HOMOGENEOUS OBJECTS

Automation of technological processes of agriculture is traditionally carried out using the systems created on the basis of a single source of requirements that characterize office setting parameters control objects, and not a lot of them that have a different composition of functional requirements that often creates functional redundancy. To solve the problem, the integral method, the idea of which is that of many homogeneous objects of control, are ranked into subsets with equal requirements to the objects within the subsets. Each subset is characterized by the integral requirements, which takes into account the quantitative composition of the objects included in subsets and functional requirements. Integral part of many TOC is equal to the sum of the integral formulations of the individual subsets. Decomposition of the whole requirements TOC gives three types of the functional structure of the system:

- 1) flexible (GDM) based on the basic module (BM) and a number of additional (DM, DM2, DM3);
- 2) flexible (GSS) on the basis of specialized modules (CM1, CM2, CM3, CM4);
- 3) hard (HC) based on a single functional module at the hierarchical level (LGL);

Keywords: synthesis, functional structure, multiple homogeneous objects, optimization, automation.

Автоматизація технологічних процесів агропромислового комплексу традиційно здійснюється за допомогою систем управління, створених на основі єдиних вихідних вимог. Такі вимоги не враховують того факту, що ми маємо справу не з одиничними об'єктами управління, а з їх множинами які характеризуються, як правило, різним складом функціональних завдань щодо їх автоматизації. Тому системи автоматизації часто характеризуються значною функціональною надлишковістю, що знижує їх ефективність.

Таке становище потребує розробки нових методів проектування, які дозволять створювати системи управління, що характеризуються достатньою універсальністю і спеціалізацією і забезпечують покриття повного складу функціональних вимог множин однорідних об'єктів з мінімальною надмірністю, що дасть можливість значно знизити витрати як на розробку, так і експлуатаційні витрати.

Матеріал і результати дослідження. Для розв'язання задачі запропоновано інтегральний метод, який зазначені вище об'єкти управління розглядає не як одиничні, а як множини однорідних за призначенням об'єктів управління (ООУ), що характеризуються змінним складом функціональних вимог. Ідея методу полягає в тому, що множини однорідних об'єктів керування, які характеризуються різним складом функціональних вимог, ранжуються на підмножини з рівним складом вимог до конкретних об'єктів в середині підмножин. Кожна підмножина характеризується інтегральним складом вимог, що враховує кількісний склад об'єктів, які входять до складу підмножин і функціональних вимог до них. Інтегральний склад множини ООУ дорівнює сумі інтегральних складів окремих підмножин. Це дає можливість синтезувати вихідну узагальнену функціональну структуру системи автоматизації і на цій основі виконати її оптимізацію з урахуванням характеристик заданої множини ООУ і розробити конструктивні модулі, що становлять технічну реалізацію оптимальної функціональної структури системи, що дозволяє будувати АСУ ТП різного ступеня складності.

Розглянемо дві множини - множину однорідних об'єктів керування ($N = \{N1, N2, \dots, Nm\}$) і відповідну їй множину вимог ($T = \{T1, T2, \dots, Tm\}$) з боку цих об'єктів до АСУ. Виконаємо декомпозицію множини ООУ за функціональною ознакою на підмножини (Ni), умовою якої є те, що в кожній з підмножин функціональний склад вимог (Ti) для всіх ООУ є однаковим. Вимоги Ti визначені натуральними числами, тому $T1, T2, \dots, Tm$ порівнянні за кількістю. Отримані в результаті декомпозиції підмножини ООУ розташуємо за принципом збільшення складу функціональних вимог до їх автоматизації:

$T_1 < T_2 < \dots < T_m$.

Відповідність підмножин N_i і T_i є декартів добуток:

$$N_i \cdot T_i = \{ \langle n, T_i \rangle \mid n \in N_i \}$$

Графічне зображення декартового добутку, є графік відповідності (рис. 1).

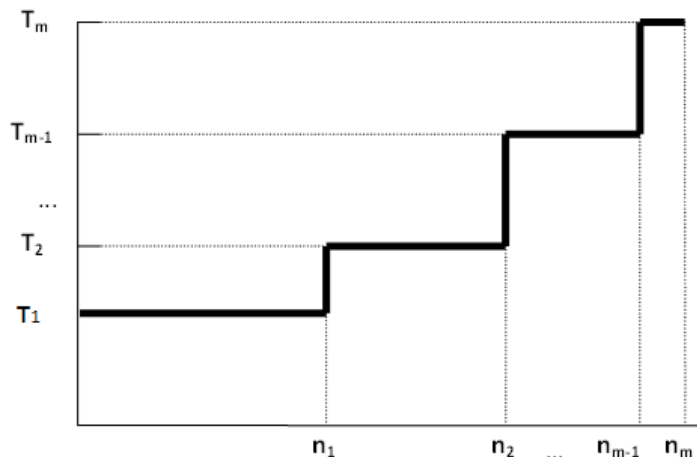


Рис. 1. Графік відповідності множин T_i і N

Нехай $N_1 = n_1, N_2 = n_2 - n_1, \dots, N_m = n_m - n_{m-1}$, тоді графік відповідності можна уявити стрибкоподібною функцією:

$$T = \begin{cases} T_1, & \text{при } 1 \leq n \leq n_1 \\ T_2, & \text{при } n_1 < n \leq n_2 \\ \dots & \\ T_m, & \text{при } n_{m-1} < n \leq n_m \end{cases} \quad (1)$$

Стрибок функції $T=f(n)$ в точці n_i є абсолютне значення різниці односторонніх меж T_i і T_{i-1} :
 $(T_2 - T_1), (T_3 - T_2), \dots, (T_m - T_{m-1})$

$$T = \{ t_y, t_k, t_\theta, t_c, t_u, \dots \}, \quad (2)$$

де $t_y, t_k, t_\theta, t_c, t_u$ – підмножини вимог, згруповані за орієнтації: відповідно вимоги щодо управління, контролю, блокування, сигналізації, інформації:

$$\begin{aligned} t_y^1 &= \{ \tau_{y1}, \dots, \tau_{yf} \}, \\ t_k^1 &= \{ \tau_{k1}, \dots, \tau_{kg} \}, \\ t_u^1 &= \{ \tau_{u1}, \dots, \tau_{ub} \}, \end{aligned} \quad (3)$$

де τ_{y1} – одиничний функціональний оператор.

Функціональні оператори, складові множин вимог до автоматизації, можна розділити на два види:

- характеризуються різними чисельними розмірними або безрозмірними фізичними величинами;
- характеризуються наявністю або відсутністю необхідності реалізації того чи іншого функціонального оператора на конкретному об'єкті.

Для функціональних операторів першого і другого виду будемо вважати, що, якщо τ -е вимога з боку об'єкта пред'являється, то оператор $\tau_i=1$, а якщо не пред'являється, то $\tau_i=0$.

Сума зазначених одиничних операторів по кожному з підмножин являє собою повний склад функціональних вимог (ПСФ) до автоматизації однорідних об'єктів - функціональний вектор.

Формувати ПСФ доцільно в табличній формі (приклад наведено у таблиці 1).

Матриця генерального функціонального вектора для всієї множини ООУ (j – число рівнів ієрархії об'єктів автоматизації):

$$T = \begin{pmatrix} \tau_{y1}^1 \dots \tau_{yz}^1 & \tau_{y1}^2 \dots \tau_{yz}^2 & \dots & \tau_{y1}^j \dots \tau_{yz}^j \\ \tau_{k1}^1 \dots \tau_{ky}^1 & \tau_{k1}^2 \dots \tau_{ky}^2 & \dots & \tau_{k1}^j \dots \tau_{ky}^j \\ \tau_{\theta 1}^1 \dots \tau_{\theta x}^1 & \tau_{\theta 1}^2 \dots \tau_{\theta x}^2 & \dots & \tau_{\theta 1}^j \dots \tau_{\theta x}^j \\ \tau_{c1}^1 \dots \tau_{cl}^1 & \tau_{c1}^2 \dots \tau_{cl}^2 & \dots & \tau_{c1}^j \dots \tau_{cl}^j \\ \tau_{u1}^1 \dots \tau_{um}^1 & \tau_{u1}^2 \dots \tau_{um}^2 & \dots & \tau_{u1}^j \dots \tau_{um}^j \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} R | N | \quad (4)$$

Таблиця 1

Множина функціональних вимог (операторів)	Реалізація функціональних операторів з підмножини			
	N_1	N_2	...	N_m
- з управління:				
1. τ_{y1}	1	1		1
...	1	1		1
τ_{yf}	1	1		1
2. $\tau_{y(f+1)}$	0	1		1
...	0	1		1
τ_{ys}	0	1		1
m. $\tau_{y(b+1)}$	0	0		1
...	0	0		1
τ_{yz}	0	0		1
- з контролю:				
1. τ_{k1}	1	1		1
...	1	1		1
τ_{kg}	1	1		1
2. $\tau_{k(g+1)}$	0	1		1
...	0	1		1
τ_{kq}	0	1		1
m. $\tau_{k(d+1)}$	0	0		1
...	0	0		1
τ_{kv}	0	0		1
і т. д. по всіх функціональних вимогам. повний склад функціональних вимог - сума одиничних операторів по кожній з підмножин	T_1	T_2		T_m

Повний вектор функціональних вимог для множини об'єктів першого ієрархічного рівня:

$$T^1 = \begin{pmatrix} \tau_{y1}^1 \dots \tau_{yf}^1 & \tau_{y(f+1)}^1 \dots \tau_{ys}^1 & \dots & \tau_{y(e+1)}^1 \dots \tau_{yz}^1 \\ \tau_{k1}^1 \dots \tau_{kg}^1 & \tau_{k(g+1)}^1 \dots \tau_{kq}^1 & \dots & \tau_{k(d+1)}^1 \dots \tau_{ky}^1 \\ \tau_{\theta 1}^1 \dots \tau_{\theta h}^1 & \tau_{\theta(h+1)}^1 \dots \tau_{\theta r}^1 & \dots & \tau_{\theta(c+1)}^1 \dots \tau_{\theta l}^1 \\ \tau_{c1}^1 \dots \tau_{cj}^1 & \tau_{c(j+1)}^1 \dots \tau_{cw}^1 & \dots & \tau_{c(a+1)}^1 \dots \tau_{c1}^1 \\ \tau_{u1}^1 \dots \tau_{ub}^1 & \tau_{u(b+1)}^1 \dots \tau_{uv}^1 & \dots & \tau_{u(p+1)}^1 \dots \tau_{un}^1 \\ \dots & & & \end{pmatrix} R | N^1 | \quad (5)$$

Матриця (5) дає можливість отримати матрицю окремих функціональних векторів, використовуваних для формування функціональних модулів, тобто складу реалізованих ними вимог.

Аналіз функціональних вимог показує, що цілий ряд їх є загальними (спільними) для всієї множини і можуть служити основою для побудови базових функціональних модулів. У той же час ряд функціональних вимог характерні лише для окремих підмножин, тобто є спеціальними і можуть служити основою для побудови спеціалізованих функціональних модулів (6).

$$M_1^1 = \begin{pmatrix} \tau_{y1}^1 \\ \tau_{k1}^1 \\ \tau_{\theta 1}^1 \\ \tau_{c1}^1 \\ \tau_{u1}^1 \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_2^1 = \begin{pmatrix} \tau_{y2}^1 \\ \tau_{k2}^1 \\ \tau_{\theta 2}^1 \\ \tau_{c2}^1 \\ \tau_{u2}^1 \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_m^1 = \begin{pmatrix} \tau_{ym}^1 \\ \tau_{km}^1 \\ \tau_{\theta m}^1 \\ \tau_{cm}^1 \\ \tau_{um}^1 \\ \dots \end{pmatrix}. \quad (6)$$

При переході від однієї підмножини до іншої спостерігається стрибок функціональних вимог, який може бути реалізований додатковим функціональним модулем (7), при цьому формується базовий модуль (M_6^1), що реалізує загальні вимоги для всіх підмножин ООУ і ряд додаткових модулів ($M_i^{(o1)}$), що реалізують додаткові вимоги.

$$M_{\delta}^1 = \begin{pmatrix} t_{y1}^1 \\ t_{\kappa1}^1 \\ t_{\delta1}^1 \\ t_{c1}^1 \\ t_{u1}^1 \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_2^{(\delta)1} = \begin{pmatrix} t_{y2}^{(\delta)1} \\ t_{\kappa2}^{(\delta)1} \\ t_{\delta2}^{(\delta)1} \\ t_{c2}^{(\delta)1} \\ t_{u2}^{(\delta)1} \\ \dots \end{pmatrix}; \quad M_m^{(\delta)1} = \begin{pmatrix} t_{ym}^{(\delta)1} \\ t_{\kappa m}^{(\delta)1} \\ t_{\delta m}^{(\delta)1} \\ t_{cm}^{(\delta)1} \\ t_{um}^{(\delta)1} \\ \dots \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Декомпозиція повного складу вимог ООУ дає три види функціональної структури системи: 1) гнучка (ГСД) на основі базового модуля (БМ) і ряду додаткових (ДМ, ДМ2, ДМ3) (рис. 2):

$$\begin{aligned} &|M_{\delta}|R|N_1| \\ &|M_{\delta}UM_2^{(\delta)}|R|N_2| \\ &|M_{\delta}UM_2^{(\delta)}U\dots UM_m^{(\delta)}|R|N_m| \end{aligned} \quad (8)$$

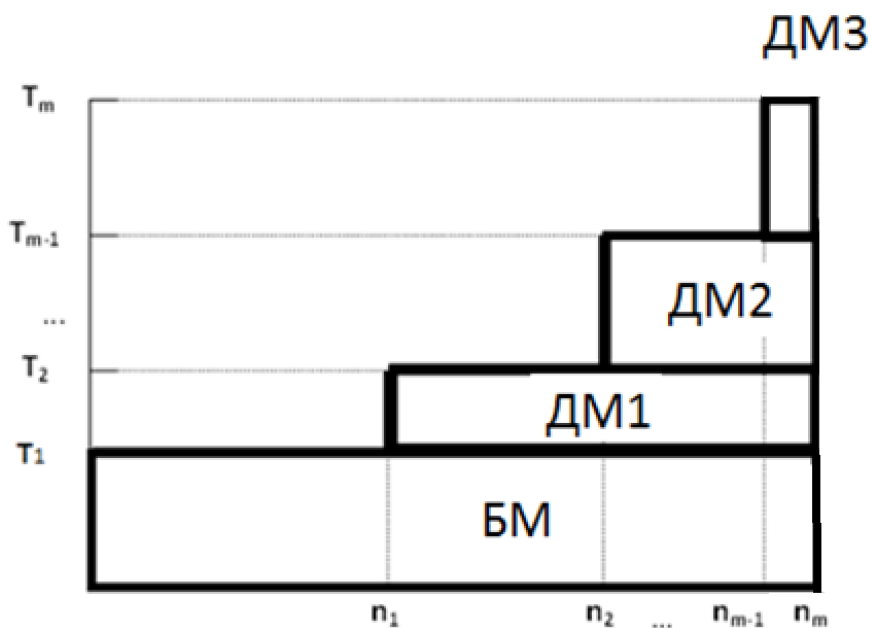


Рис. 2. Гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових (ГСД): БМ – базовий модуль, ДМ1 – додатковий модуль 1, ДМ2 – додатковий модуль 2, ДМ3 – додатковий модуль 3

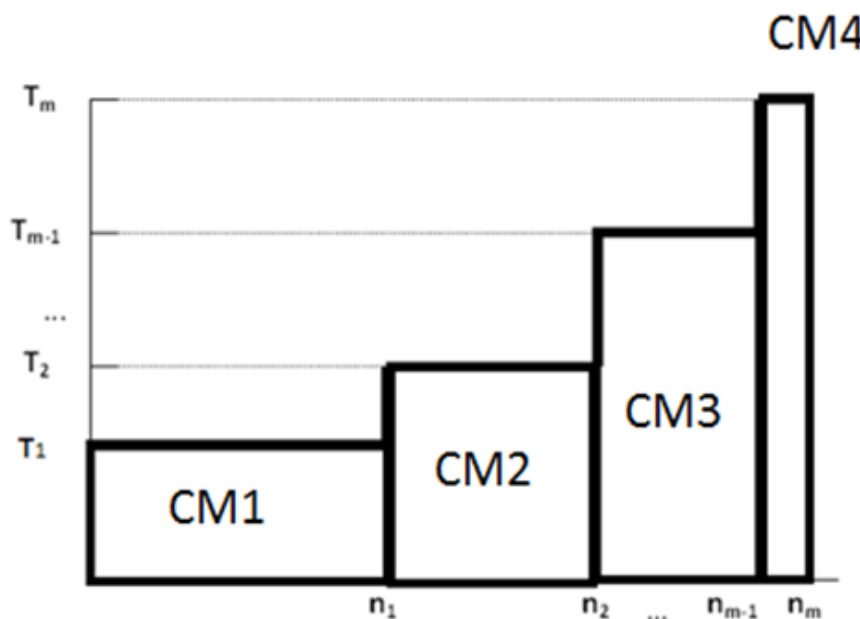


Рис. 3. Гнучка на базі спеціалізованих модулів (ГСС) СМ1 – спеціалізований модуль 1, СМ2 – спеціалізований модуль 2, СМ3 – спеціалізований модуль 3, СМ4 – спеціалізований модуль 4

2) гнучка (ГСС) на базі спеціалізованих модулів (СМ1, СМ2, СМ3, СМ4) (рис. 3)

$$\begin{aligned} &|M_1|R|N_1| \\ &|M_2|R|N_2| \\ &\dots \\ &|M_m|R|N_m| \end{aligned} \tag{9}$$

3) жорстка (ЖС) на базі єдиного функціонального модуля на ієрархічний рівень (ЖС):

$$|M_m|R|N_1UN_2U\dots UN_m| \tag{10}$$

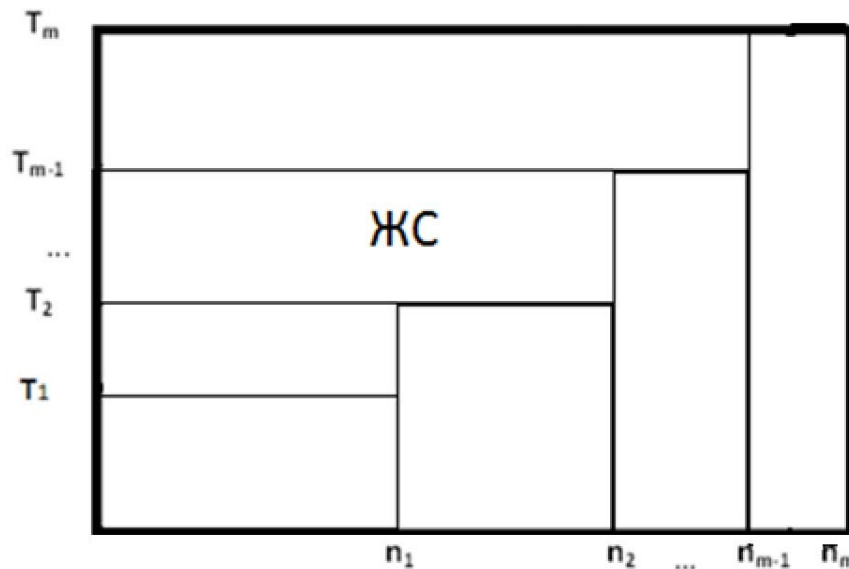


Рис. 4. Жорстка на базі єдиного функціонального модуля на ієрархічний рівень (ЖС).

Нижче наведено вирази (11), (12), (13) для визначення кількості модулів різних структур для покриття ПСФ ООУ.

Для ГСД:

$$\mu_0 = \mu_1 + \mu_2^{\hat{}} + \dots + \mu_m^{\hat{}} = m \cdot n_m - \sum_1^{m-1} n_i. \tag{11}$$

Для ГСС:

$$\mu_0 = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_m = n_m. \tag{12}$$

Для ЖС:

$$\mu_0 = \mu_1 = n_m. \tag{13}$$

Кожну з підмножин однорідних об'єктів керування представимо через інтегральний склад вимог ООУ, а множини в цілому – через суму інтегральних складів окремих підмножин. Тоді для зазначених вище структур можна записати вирази для визначення їх інтегральних складів функціональних вимог:

Для ГСД:

$$T_{II} = T_1 \cdot n_m + \sum_2^m T_i^{\hat{}} (n_m - n_{i-1}) \tag{14}$$

Для ГСС:

$$T_{II} = \sum_1^m T_i (n_i - n_{i-1}) \tag{15}$$

Для ЖС:

$$T_{II} = T_m \cdot n_m \tag{16}$$

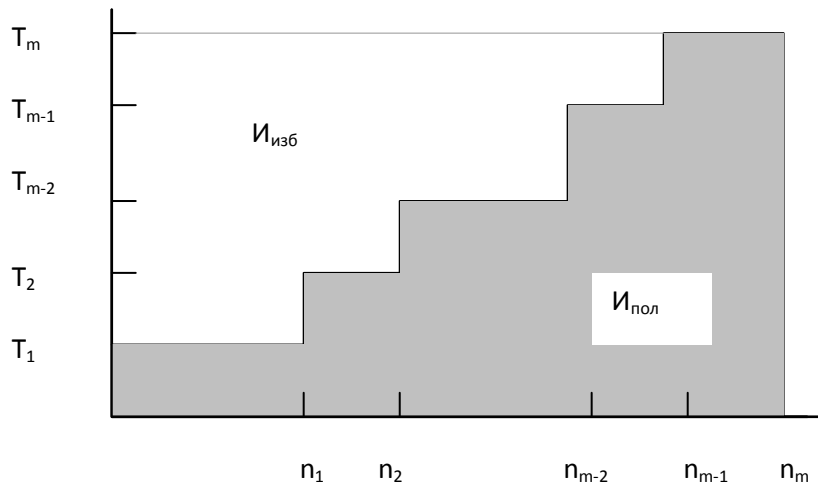


Рис. 5. Інтегральний склад вимог множини ООУ

Вибір вихідної функціональної структури, відповідної заданій множині ООУ, здійснюється на основі критерію виду функціональної структури $\Delta_{ис}$ (17), що представляє собою різницю між корисним (мінімально достатнім для покриття повного складу функціональних вимог) (18) і надлишковим інтегральним складом функціональних вимог (19) (рис. 5):

$$ис = I_{пол} - I_{изб} \quad (17)$$

$$I_{пол} = T_1 n_1 + T_2 (n_2 - n_1) + T_3 (n_3 - n_2) + \dots + T_m (n_m - n_{m-1}) \quad (18)$$

$$I_{изб} = (T_m - T_1) n_1 + (T_m - T_2) (n_2 - n_1) + \dots + (T_m - T_{m-1}) (n_m - n_{m-1}) \quad (19)$$

$$\Delta_{ис} = \Delta_{ис1} + \Delta_{ис2} + \Delta_{ис3} + \dots + \Delta_{ис m-1} + \Delta_{ис m} \quad (20)$$

Або

$$\Delta_{ис} = (2T_1 - T_m) n_1 + (2T_2 - T_m) (n_2 - n_1) + (2T_3 - T_m) (n_3 - n_2) + \dots + (2T_{m-1} - T_m) (n_m - n_{m-1}) + T_m (n_m - n_{m-1}) \quad (21)$$

- якщо критерій виду функціональної структури $\Delta_{ис} > 0$, то доцільною для такої множини ООУ є структура ЖС;

- якщо критерій виду функціональної структури $\Delta_{ис} \leq 0$, то функціональна структура повинна бути гнучкою (ГСС або ГСД) або жорстка ЖС. Оптимальною структурою АСУ однорідними об'єктами є структура, що забезпечує покриття інтегрального складу вимог ООУ при повних найменших витратах $S_{д}$ на автоматизацію, які включають в себе функціонально-інтегральну вартість (ФИС) $S_{ф}$ і витрати на обслуговування ФИС $S_{о}$. Ці задачі будуть предметом окремого дослідження.

Висновки

Таким чином, у процесі структурного синтезу отримані різні варіанти побудови структури системи автоматизації однорідних об'єктів, а саме: гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових; гнучка на базі спеціалізованих модулів; жорстка на базі єдиного функціонального модуля. Інтегральний склад вимог множини ООУ дозволяє вибрати оптимальну структуру системи автоматизації ООУ. Вибір тієї або іншої структури залежить від конкретного складу ООА і є предметом окремого розгляду.

Література

1. Аладьев В.З. Однородные структуры. Теоретические и прикладные аспекты / Аладьев В.З. – К. : Техніка, 1990. – 272 с.
2. Методи и алгоритмы решения задач оптимизации / Бейко И.В. и др. – К. : Вища школа, 1983. – 512 с.
3. Булат А.Ф. Многокритериальная экспертная оценка альтернативных вариантов технических решений / А.Ф. Булат // Уголь Украины. – 1998. – № 2. – С. 3–4.
4. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Реклейтис Г. – М. : Мир, 1986.
5. Стадник Н.И. Интегральная избыточность как критерий оптимизации функциональных структур систем управления – Н.И. Стадник // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк, 2001. – Випуск 27. С. 377–381.
6. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Стадник Н.И. и др. – К. : Техніка, 1992. – 437 с.

Рецензія/Peer review : 19.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Матвійчук В.А.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОПРАЦЮВАННЯ ФОНОКАРДІОСИГНАЛУ ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЙОГО У ВИГЛЯДІ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ

Спираючись на статистичні дані Всесвітньої організації охорони здоров'я та Міністерства охорони здоров'я України видно, що відбувається зростання захворюваності серцево-судинними недугами, тож виникає необхідність в удосконаленні існуючих систем автоматизованої діагностики, що є пріоритетним напрямком сучасної кардіології. Дослідження фазової структури серцевого циклу дає змогу об'єктивно оцінити стан серцево-судинної системи та виявляти порушення в її роботі на ранніх стадіях розвитку патологічного процесу. Базуючись на результатах медичних досліджень описано ключову роль синусового вузла як водія ритму скорочення серця та обґрунтовано засоби його математичної формалізації. Обґрунтовано застосування математичної моделі у вигляді періодично корельованого випадкового процесу для опрацювання фонокардіосигналу для оперативного та своєчасного виявлення порушень в роботі серця шляхом впровадження нового класу інформативно-інваріантних ознак.

Ключові слова: функціональний стан, серцево-судинна система, система автоматизованої діагностики, електрокардіографія, фонокардіографія, періодично корельований випадковий процес.

YURI PALANIZA

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

MODERN APPROACHES TO PHONOCARDIOSIGNAL PROCESSING AND ITS MATHEMATICAL MODEL AS A PERIODICALLY CORRELATED RANDOM PROCESS

Abstract – According to World Health Organization and Ministry of Health of Ukraine statistical data, the number of cardiovascular diseases in Ukraine and abroad, prompts to the development and improvement of the diagnosis of heart disease. Therefore the cardiovascular system state diagnostic is priority of a modern cardiology. By studying the phase structure of heartbeat cycles is real possibility to the cardiovascular system evaluation. Based on the number of medical facts about the cardiovascular system structure and functioning, considering the key role of sinus node as heart rhythmic activity driver, a mathematical formalization of it research is grounded. The main criteria of the phonocardiogram diagnostic systems based on its mathematical model in the form of a periodically correlated random process is described.

Keywords: functional state, cardiovascular system, automated system diagnostics, electrocardiography, phonocardiography, periodically correlated random process.

Постановка задачі

За даними Міністерства охорони здоров'я України (МОЗУ) та Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) спостерігається тенденція до зростання рівня смертності від захворювань серцево-судинної системи (ССС) людини. При цьому поширеність хвороб системи кровообігу серед працездатного населення становила 52 %, у тому числі ішемічної хвороби серця – 42,1 %, гіпертонічної хвороби (усі форми) – 61,5 % та судинно-мозкових захворювань – 30 % [1...3]. Тому важливим завданням сучасної медицини є завчасне виявлення патологічних змін в роботі ССС.

На сьогодні діагностика стану ССС ґрунтується на застосуванні методів фізіологічних досліджень, які базуються на проявах і властивостях ССС [4]. При цьому, стан ССС характеризується роботою різних її структур. Функціонування кожної окремо взятої структури супроводжується протіканням або зміною в часі параметрів чи характеристик певних фізичних процесів (зміна електричного поля, виділення тепла або зміна теплопровідності, зміна пружних властивостей середовища) [4]. Протікання цих змін в часі трактуються відповідно до основних положень системно-сигнальної концепції [5] як «сигнал». Кожен з отримуваних видів сигналів (потенціали, механічні коливання, звук та ін.) несе найбільше відомостей про стан характерної притаманної йому структури ССС. При цьому, роботу структур серця (наприклад міокарду, клапанів) найповніше характеризують акустичні сигнали, дослідження яких проводять за допомогою аускультатії, тобто звичайного прослуховування. При такому методі виявлення патології результат залежить від професійності лікаря, роздільної здатності його вуха та інших суб'єктивних факторів [4]. Перспективним при діагностуванні стану ССС є метод фонокардіографії [4,5], що ґрунтується на реєстрації акустичних показників механічної роботи серця (фонокардіосигналу). Структури ССС (клапани серця, крупні судини, потік крові, а також м'язи) породжують комплекс механічних коливань. На відміну від аускультатії [6], метод дає змогу більш об'єктивно отримати дані про механічну роботу серця, уможливує спостереження за динамікою зміни стану ССС у зв'язку з протіканням патологічних процесів, терапії таких процесів.

Аналіз досліджень та публікацій

Завдяки розвитку технологій та, зокрема, обчислювальної техніки, метод фонокардіографії здобув поширення в системах автоматизованої комп'ютерної діагностики, які вимагають застосування й постійного вдосконалення математичного апарату та алгоритмів, врахування нових факторів, що чинять вплив на здоров'я людини. Алгоритми роботи таких діагностичних систем визначаються математичною моделлю ФКС. Відомі математичні моделі можна умовно розділити на детерміновані (Кебот і Додж (1925),

Мангеймер (1941), Г. І. Касирським (1957)) та стохастичні [6...10]. Варто зазначити, що в таких діагностичних системах як СФЕРА-4 (НТЦ "ХАІ-МЕДИКА, Харків), "Кардіо +" („МЕТЕСОЛ", Чернігів), МКМ-08 (СФУ, Красноярськ, Росія) опрацювання даних базується на поданні ФКС як стаціонарної випадкової послідовності. При цьому проводиться оцінювання імовірнісних характеристик ФКС, а за математичну модель приймається стаціонарний випадковий процес. Такий підхід є спрощеним, не відповідає природі процесу серцевих скорочень [11,12] і не має засобів оцінювання статистичної взаємопов'язаності між різними циклами однієї і тієї ж серії спостережень, а також властивій ФКС повторюваності та випадковості, і не може бути використаний для своєчасного виявлення проявів захворювання.

Розширити можливості автоматизованих систем комп'ютерної діагностики дала праця Осухівської Г.М. [9], де в термінах енергетичної теорії стохастичних сигналів (ЕТСС) [5], обґрунтовано можливість використання періодично корельованого випадкового процесу (у вигляді сигналу релаксаційного мультипульсатора) як моделі для опису й аналізу тонового сигналу серця людини. Однак така математична модель як теоретичний концепт не в змозі адекватно описати серцеву діяльність, оскільки не враховує вплив нервової регуляції серцевих скорочень, а лише розглядає роботу серця як процес, що повторюється в деяких межах через приблизно рівні проміжки часу. результатів.

Відомі та поширені в медицині пристрої виявлення захворювань ССС, як, наприклад «Monitor-One» фірми Q-Med (США) для вирішення поставленого завдання використовують алгоритми опрацювання ЕКС, які ґрунтуються на аналізі його часової структури [1,3]. Опрацювання ЕКС проводиться на окремих сегментах (оскільки за виникненням і зростанням характерних ознак саме на окремих сегментах визначається наявність або відсутність патологічних змін) і лише в характерних точках. Інформація, що зосереджена в інших точках сегмента фактично ігнорується [2]. Рішення про наявність або відсутність патологічних змін приймається за результатами спостереження сигналу окремо взятого кардіокомплексу або сигналу, усередненого на короткому інтервалі часу [2]. Однак епізод прояву патології може розвиватися протягом кількох десятків секунд. Тому значна частина інформації не тільки про наявність епізоду а і про його перебіг (за умови наявності) в процесі опрацювання практично втрачається [2].

Формування цілей

Метою статті є обґрунтування математичної моделі ФКС, яка давала б можливість враховувати в структурі такого класу сигналів вплив нервової регуляції серцевих скорочень та була б придатною для задач діагностики шляхом впровадження нового класу інформативних ознак, що є індикаторами змін у функціонуванні окремих структур ССС.

Обґрунтування математичної моделі ФКС

В працях [13, 14] розкрито вплив нейрорегуляції на серцевий ритм, як основного чинника. На рис. 1 зображено провідну систему серця (зліва) та форму потенціалів дії різних відділів серця (справа). Ця система включає в себе сино-атріальний (синусів) вузол, атріо-вентрикулярний вузол, пучок Гіса (His W), ніжки пучка Гіса, волокна Пуркінє (Purkinje JP), пучки Самойлова-Венкебаха. У цій системі головним водієм ритму є синусів вузол (Й. Шмидт-Фойгт (1966)), який генерує збудження (Keitx A, Flack MW, Aschoff KA, Tawara S, Harrison DC, Schroeder JS, Berke OK Graham AF. Rider AK, Stinson EB), що, в свою чергу, поширюється по структурах провідної системи, спричиняючи послідовне скорочення ділянок міокарда та, відповідно, їх послідовне розслаблення (систола/діастола).

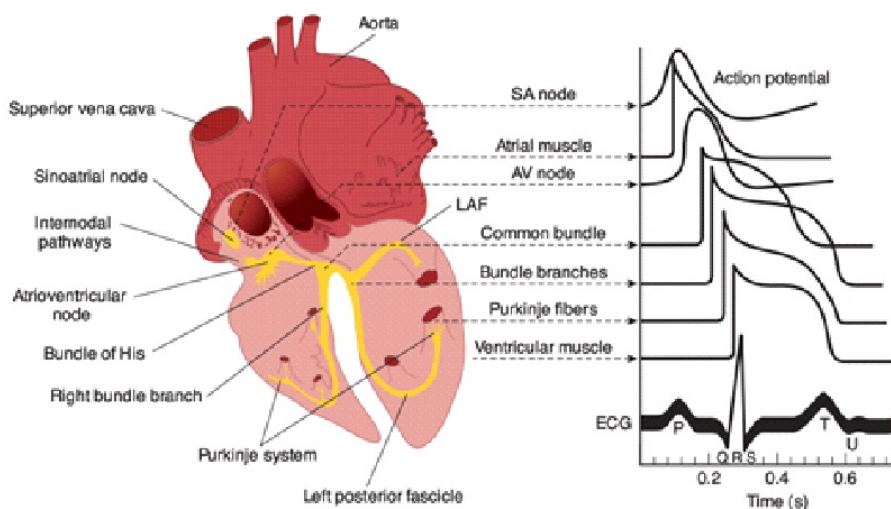


Рис. 1. Схематичне зображення провідної системи серця [14]

Таким чином всі етапи серцевого циклу (рис.1, рис. 2) – це послідовність електричних та механічних явищ у відповідь на подразник, що задається серцевим ритмом. Частота серцевих скорочень (ЧСС) визначається автоматизмом синусового вузла (тобто його спонтанною діастолічною деполяризацією), який модулюється [15] впливом вегетативних, гуморальних і місцевих факторів.

Отже, роботу серця можна описати «модуляцією» – кожен з послідовності імпульсів потенціалу дії спричиняє відповідь у вигляді серії послідовних рознесених в часі серцевих скорочень/розслаблень, при цьому форма, тривалість і фазові зсуви цих імпульсів можуть змінюватися в залежності від ступеня навантаження, емоційного стану та цілого комплексу інших екзогенних та ендогенних впливів. Відгуки також не будуть мати постійних параметрів, які, в свою чергу, будуть залежати від таких факторів, як, зокрема, стан провідної системи (блокада ніжки пучка Гіса), опору структур потоку крові (пролапси, стенози, аневризми), постінфарктних рубців, що має велику діагностичну цінність.

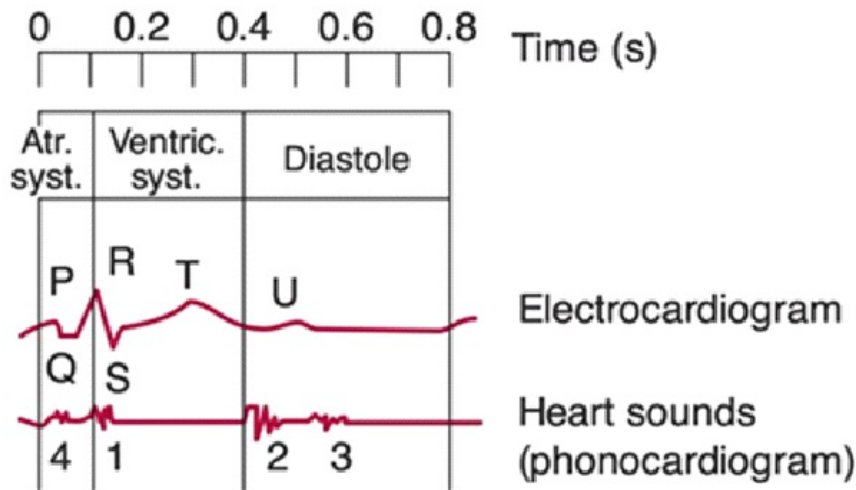


Рис. 2. Фази серцевого циклу (ЧСС 75 ударів за хвилину) [14]

Математична модель ФКС, як формальне відображення досліджуваного об'єкту, повинна враховувати у своїй структурі наведені вище нюанси. Як наслідок, адекватним ФКС математичним підходом, виходячи з фізичної природи породження такого класу сигналів засобами ЕТСС розробленої Я.П. Драганом, є модель у вигляді імпульсного періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП) класу π^T (процеси зі скінченною за період корельованості середньою потужністю), що зображується у вигляді:

$$\xi(t) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} \xi_k(t) \cdot e^{ik \frac{2\pi}{T} t}, t \in \mathbf{R}, \quad (1)$$

де $\xi_k(t)$ – модуляційні компоненти фонокардіосигналу як стохастична складова сигналу; $e^{ik \frac{2\pi}{T} t}$ – періодична складова коливання із періодом коливань T , що називається періодом корельованості сигналу.

Виходячи з задач теорії сигналів К. Джордан розглянув фактично частковий випадок ПКВП за умови $\int_0^T \int_0^T |r(t+u, t)|^2 dt du < \infty$ і з використанням теореми Карунена-Лоева дав подання такого процесу через трансляційні компоненти, тобто послідовності імпульсів у вигляді власних функцій його кореляційної функції як ядра на відрізку $[0, T)$ та зсуви їх на відстані $jT, j \in \mathbf{Z}$ промодульовані амплітудно стаціонарною випадковою послідовністю (див. [16]) вигляду:

$$\xi(t) = \sum_{p \in \mathbf{Z}} \sum_{k \in \mathbf{N}} \eta_k^p \phi_k^p(t - pT), \quad (2)$$

Цей результат узагальнений у праці [17] за слабших умов скінченності потужності ПКВП, тобто середньої за період корельованості енергії процесу, а отже застосування енергетичної теорії і цим показано, що таке подання в даному разі рівносильне поданню через модуляційні компоненти. А цим обґрунтована застосовність до ПКВП всіх відповідних факторів цієї теорії (див. [5]). Деякі додаткові відомості стосовно цього питання наведені у публікації [18].

Таким чином серцева діяльність подається як залежність зміни процесу, що являє собою детерміновану імпульсну послідовність, промодульовану відповідно стаціонарною послідовністю. Такий процес прийнято називати трансляційною моделлю, беручи до уваги, що імпульсна послідовність отримується зсувами того самого імпульсу.

Модель у вигляді ПКВП є адекватним зображенням серцевої діяльності [19, 20]. Такі процеси успішно використані в багатьох працях як математичні моделі стохастичних коливань, бо обґрунтовують методи статистичного оцінювання за поодинокими реалізаціями імовірнісних характеристик процесів, а, таким чином і досліджуваних об'єктів – у даному разі функціонування ССС.

Висновки

Розглянута математична модель ФКС дасть змогу врахувати роль "водія" ритму (зокрема синусового вузла) у механізмі породження акустичної активності серця, виділити клас нових інформативно-

інваріантних ознак та на основі них побудувати метод опрацювання фонокардіосигналу для оперативного й своєчасного виявлення змін на ранніх етапах розвитку ІХС. Використання запропонованої моделі ФКС значно розширить можливості сучасних систем діагностики стану ССС людини.

Література

1. Коваленко В.М. и др. Смертність та інвалідність населення внаслідок серцево судинних та судинно мозкових захворювань—проблема сучасності / Коваленко В.М. // Укр. кардіол. журн. – 2003. – Т. 6. – С. 9–11.
2. Заклади охорони здоров'я та захворюваність населення України у 2001 році : статистичний бюлетень / Держкомстат України. – К., 2002. – 45 с.
3. Корнацький В. М. Проблеми здоров'я та подовження тривалості життя населення України / В. М. Корнацький // Укр. мед. часопис. – 2008. – №. 5. – С. 83–87.
4. Мустецов Н.П. Инструментальные методы медико-биологических исследований / Н.П. Мустецов. – Харьков : ХТУРЭ, 1999. – 176 с.
5. Драган Я.П. Энергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів / Я.П. Драган. – Львів : Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. – XVI, 333 с.
6. Аускультация сердца / [Алмазов В.А., Салимьянова А.Г., Шляхто Е.В., Клаусс Г.]. – СПб : СПбГМУ, 1996. – 232 с.
7. Бабак В.П. Обработка сигналов: підручник / В.П.Бабак, В.С. Хандецький, Е.Шрюфер. – К. : Либідь, 1996. – 392 с.
8. Федотов А.А. Математическое моделирование и анализ погрешностей измерительных преобразователей биомедицинских сигналов / А.А. Федотов, С.А. Акулов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 282 с.
9. Осухівська Г. М. Математична модель тонового сигналу для діагностики стану клапанів серця людини : автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук : 01.05.02 / Г.М. Осухівська. – Тернопіль, 1999. – 20 с.
10. ХАИ-МЕДИКА – оборудование для функциональной диагностики [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://xai-medica.com/articles.htm>, вільний – Гол. з екрану. – Мова рос., англ.
11. Барабанов С.В. Физиология сердца / С.В. Барабанов. – СПб : Спецлит, 2001. – 143 с.
12. Anderson R.N., Becker A E. Cardiac anatomy: An integrated text a colour atlas. London, Gower, 1980.
13. Карпман В.Л. Фазовый анализ сердечной деятельности / В.Л. Карпман. – М., 1985. – 230 с.
14. Ganong W. F. Review of medical physiology, 24th Edition. – New York: McGraw-Hill Medical, 2010.
15. Морган-мл. Дж. Клиническая анестезиология / Дж. Э.Морган-мл. Мэвид С. Михаил / Книга вторая ; [пер. с англ. / под ред. акад. РАМН А.А. Бунятына]. – Москва : Изд. «Бином» ; Санкт-Петербург : «Невский диалект», 2000. – 365 с.
16. Gardner W. Franks L.E. Characterization of cyclostationary signal processes // IEEE Trans. on inf. th. 1975, v 21, № 1. – P. 6–14.
17. Драган Я.П. Трансляционные представления периодически коррелированных случайных процессов конечной средней мощности / Я.П. Драган // Тез. докл. 2-й Межотрасл. акуст. семинара "Модели, алгоритмы принятия решений". – М. : Изд. Акуст. ин-та им. Н.Н. Андреева АН СССР, 1988. – С. 7.
18. Драган Я. Линейные случайные процессы конечной энергии и классификация стохастических сигналов / Драган Я., Сикора Л., Яворский Б. // Pattern recognition and information processing. Proc. of Forth Intern. Conf. PRIP'97, Minsk, 20-22 May 1997. – Minsk : Publ. Belorusion State univ., 1997. vol. 2, P. 130–134.
19. Дозорський В.Г. Метод виявлення проявів ішемічної хвороби серця для медичних систем контролю стану пацієнта / В.Г. Дозорський, В.В. Фалендиш, Л.Є. Дедів, Ю.Б. Паляниця // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 1 частина 1 (90). – 178 с.
20. Драган Я.П. Обґрунтування структури системи дистанційної діагностики адаптаційних резервів серця / Я.П. Драган, Ю.Б. Паляниця, О.В. Гевко, І.Ю. Дедів // НАУКОВИЙ ВІСНИК НЛТУ України : збірник науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.10. – 364 с.

Рецензія/Peer review : 21.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.

Рецензент : Пастух О.А.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛУ СУДИН ЛЮДИНИ

Розроблено імітаційну модель пульсового сигналу судин людини у вигляді періодично подовжених сум двох функцій із заданими законами нормального розподілу, значеннями моментів часу (початок і тривалість коливання (фазово-часові параметри)) та амплітуд прямої і відбитої хвиль кровонаповнення. Запропонована імітаційна модель враховує у своїй структурі поєднання властивостей повторності із випадковістю і дає змогу за відомими медичними параметрами моделювати сигнали патологій і норм із високою вірогідністю відтворення. За допомогою програмного забезпечення MATLAB розроблено комп'ютерну програму для імітування пульсових сигналів із графічним інтерфейсом користувача як засобу тестування алгоритмів опрацювання експериментальних пульсових сигналів у фотоплетизмографічних системах.

Ключові слова: пульсовий сигнал, періодичність, випадковість, імітаційна модель, MATLAB.

L.V. HVOSTIVSKA

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

THE HUMAN VASCULAR PULSE SIGNAL IMITATION MODEL

An imitation model of human vascular pulse signal is developed for testing algorithms of processing in photoplethysmography systems. The pulse signal within one period is presented as a mixture of two additive functions with specified normal distribution laws, values of time points (beginning and duration of fluctuation (phase-timing parameters)) and amplitudes of the direct and reflected waves of blood filling. Considering the experimental signals being stochastic, the additional stochastic parameters were added to the simulation model expression in order to include the effect of random component in the amplitudes of the direct and reflected waves, the moments of maximum blood flow and length variations (blood supply) of each of the waves. In order to provide the periodicity of pulse signals in simulation model expression that sets the sinus node of the human heart, the positioning of the k -th pulse signals in the relevant k -th time zones is done, which create the domain time observations of periodic pulse signal. The proposed simulation model takes into account in its structure combination of periodical and stochastic properties that allows simulating the signals using known medical norms or pathologies with high probability reproduction. The computer program for pulse signals simulation with graphical the interface of user is developed using MATLAB.

Key words: pulse signal, periodicity, randomness, simulation model, MATLAB.

Вступ

Діагностування стану судин людини за пульсовим сигналом (ПС), який відображає періодичне об'ємне коливання стінок судин (зміна об'ємів $V1$ та $V2$) (рис.1) під дією артеріального та венозного кровотоку, дає змогу відстежити динаміку розвитку хвороби судин на початкових стадіях її розвитку (підтверджено авторами багатьох праць медичного (Айвар Ю.П., Буничева А.Я., Мухин С.И., Лебедев П.А. та інші) та технічного (Михайлов Н.Ю., Павлов С.В., Рибін О.І., Шарпан О.Б., Кожем'яко В.П., Сторчун Ю.Є., Тимчик Г.С., Савицький М.М., Webster J.G. та ін.) спрямувань.

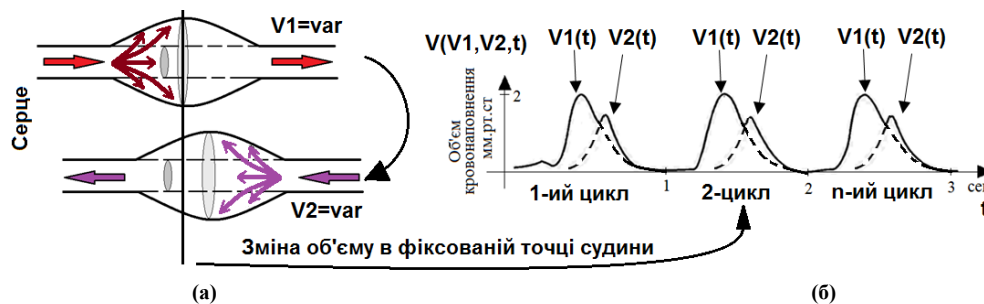


Рис. 1. Зміна об'єму судин $V1$ (об'єм судини в період діастолі (рух артеріальної крові)) та $V2$ (об'єм судини в період систолі (рух венозної крові)) в залежності від кровонаповнення: (а) – процес зміни об'єму судин під тиском крові; (б) – процес зміни об'єму кровонаповнення судини в фіксованій точці впродовж певного проміжку часу t (пульсовий сигнал)

Одним із методів, який уможливило реєстрацію ПС є фотоплетизмографічний метод (ФМ), який у порівнянні із іншими не інвазивними методами (пряма та об'ємна сфїгмографія, флєбосфїгмографія, плетизмографія та реографія) забезпечує не стиснення судин, високу точність та роздільну здатність, можливість подальшої обробки, візуалізацію та добовий моніторинг [1]. ФМ базується на вимірюванні фотоприймачем інтенсивності $I_2=I_{21}+I_{22}$ (I_{21} – відбиття від вени, I_{22} – відбиття від артерії) відбитого від судин (артерій та вен) або пройшовшого через них розсіювання світлового потоку I_1 , що породжується джерелом світла I_1 (рис.2).

Належне опрацювання ПС за допомогою фотоплетизмографічних систем (ЕЛДАР (Росія), Endo-Pat2000, (Ізраїль), PulseTrace PCA2 (США), Senzio (Голландія) та інші) дає змогу виявити функціональні зміни у серцево-судинній системі та вибрати методику проведення профілактичних заходів, а у випадку виявлення патологічних порушень, запобігти розвитку хвороби відповідним лікуванням. Ефективне опрацювання ПС залежить від наявності адекватної до такої задачі його математичної моделі і розробленої на її основі комп'ютерної імітаційної моделі як засобу для тестування алгоритмів опрацювання ПС у

фотоплетизмографічних системах, оскільки імітаційна модель дає змогу задавати у своїй структурі апріорні дані про характерні властивості сигналу.

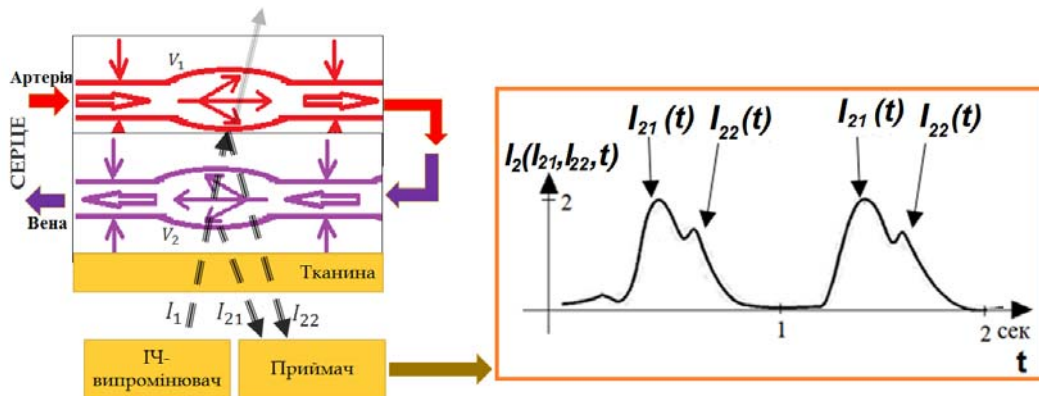


Рис. 2. Принцип реєстрації пульсового сигналу методом фотоплетизмографії

Постановка задачі

Аналіз відомих комп'ютерних імітаційних моделей ПС показав, що у їх структурах не враховано зміну його фазово-часових параметрів, що є важливим для задачі своєчасної діагностики стану судин людини. Зокрема, імітаційна модель ПС у вигляді:

- синусоїди з експоненційним затуханням (відображає форму ПС, величини швидкостей потоків крові в межах одного періоду) (Акулов В.А.) [2] – не враховує випадковість та періодичність;
- гармонічної трифазної моделі (відображає генезис пульсацій в кровоносній системі в межах одного періоду) (В.В.Гнілицький, Н.В. Мужичька) [3] – не враховує випадковість та періодичність;
- гармонічного осцилятора (враховує періодичність ПС) (Михайлов Н.Ю., Толмачев Г.Н.) [4] – не враховує випадковість;
- адитивної суміші детермінованої і випадкової складових (враховує випадковість ПС) (Самков С.В., Черненко А.И.) [5] – не враховує періодичність.

Розроблення комп'ютерної імітаційної моделі ПС, яка би враховувала у своїй структурі поєднання періодичності (циклічності) процесу, який задається роботою серця людини) з випадковістю (зміна амплітудних та фазово-часових параметрів, яка визначається рівнем впливу внутрішніх та зовнішніх завад), що є притаманним для сигналу такої природи породження і науково важливим для задачі верифікації методів опрацювання сигналів в фотоплетизмографічних системах є актуальною науковою задачею.

Аналіз структури пульсового сигналу

ПС у своїй структурі містить дві складові у вигляді прямої та відбитої хвиль з характерними для них часовими та амплітудними параметрами ($A_1, A_2, m_1, m_2, T_1, T_1, t_{01}, t_{02}$) (рис. 3).

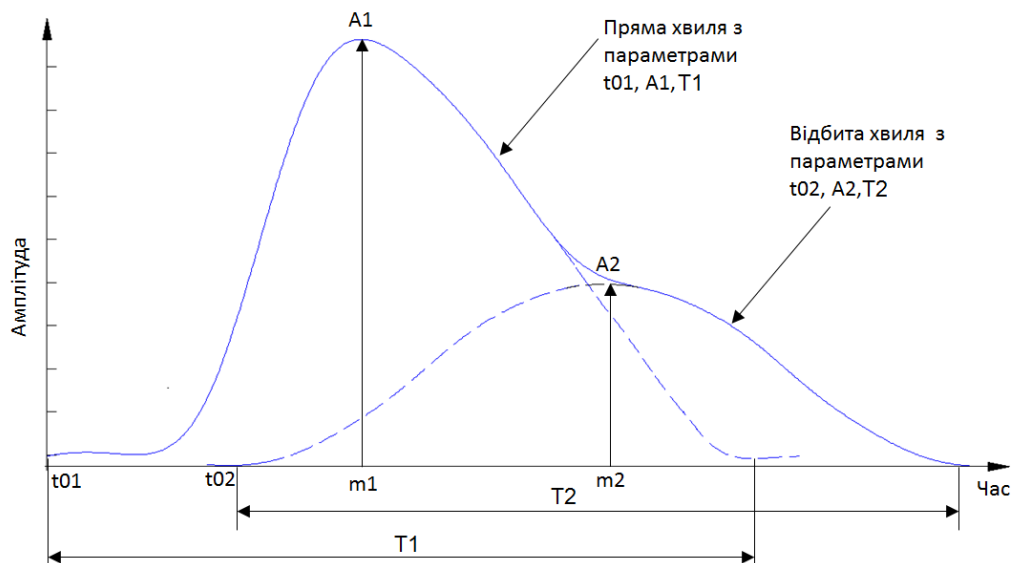


Рис. 3. Структура експериментального ПС та його параметри:

m_1 і m_2 – моменти часу, в яких хвилі приймають максимальні значення A_1 і A_2 ; t_{01} і t_{02} – початкові момент часу (фази) коливання (кровонаповнення); T_1 і T_2 – тривалості коливання (кровонаповнення) кожної з хвиль

З рисунку 3 видно, що окрім вище наведених параметрів прямої та відбитій хвилям ПС притаманні особливості експоненціального наростання та затухання амплітуди на певних часових інтервалах.

Імітаційна модель пульсового сигналу в межах одного періоду

Із урахуванням вище сформульованих припущень запропоновано в якості імітаційної моделі використати адитивну суміш двох функцій нормального розподілу, які у своїй структурі поєднують притаманні ПС параметри такі як амплітуди, часові тривалості, початки коливання прямої та відбитої хвиль та властивості експоненціального наростання та затухання:

$$s(t) = A_1 \cdot e^{-\frac{(t-m_1)^2}{2T_1^2}} + A_2 \cdot e^{-\frac{(t-m_2)^2}{2T_2^2}}, t \in [0, T_{\max}] \tag{1}$$

де A_1 і A_2 – амплітуди прямої і відбитої хвиль в моменти максимального кровонаповнення;
 m_1 і m_2 – моменти часу максимального кровонаповнення;
 T_1 і T_2 – тривалості кровонаповнення;
 T_{\max} – максимальне значення часу.

Із урахування правила 3-х сігм 3σ [6], яке поширюється на вираз (1), встановлено, що практично всі значення прямої хвилі лежать в інтервалі $[m_1 - 3T_1; m_1 + 3T_1]$, а відбитої – $[m_2 - 3T_2; m_2 + 3T_2]$ з достовірністю 0,9973.

Початок коливання кожної з хвиль визначається як різниця моментів часу максимального кровонаповнення і правила 3-х сігм 3σ :

$$\begin{aligned} t_{01} &= m_1 - 3T_1, \\ t_{02} &= m_2 - 3T_2. \end{aligned} \tag{2}$$

Кінець коливання кожної з хвиль визначається як сума моментів часу максимального кровонаповнення і $3T_1$ ($3T_2$), а саме: для прямої хвилі – $m_1 + 3T_1$; для відбитої хвилі – $m_2 + 3T_2$.

Імітаційна модель пульсового сигналу із урахуванням випадковості

Враховуючи випадковий характер поведінки ПС прямої та відбитої хвиль як за амплітудними так і фазово-часовими параметрами отримано вираз імітаційної моделі:

$$\begin{aligned} \xi(t) &= s(t, A + \psi_A, m + \psi_m, T + \psi_T, T_{\max} + \psi_t) = \\ &= (A_1 + \psi_A) \cdot e^{-\frac{(t-(m_1+\psi_m))^2}{2(T_1+\psi_T)^2}} + (A_2 + \psi_A) \cdot e^{-\frac{(t-(m_2+\psi_m))^2}{2(T_2+\psi_T)^2}}, t \in [0, (t_{\max} + \psi_t)], \end{aligned} \tag{3}$$

або в компактнішому вигляді:

$$\xi(t) = \sum_{n=1}^2 (A_n + \psi_A) \cdot e^{-\frac{(t-(m_n+\psi_m))^2}{2(T_n+\psi_T)^2}}, t \in [0, (t_{\max} + \psi_t)] \tag{4}$$

де $\psi_A(M\{A\}, D\{A\})$ – випадкова величина амплітуди хвиль з математичним сподіванням $M\{A\}$ та дисперсією $D\{A\}$, яка є показником відхилення;

$\psi_m(M\{T\}, D\{T\})$ – випадкова величина моменту максимального кровонаповнення з математичним сподіванням $M\{T\}$ та дисперсією $D\{T\}$, яка є показником відхилення.

$\psi_T(M\{T\}, D\{T\})$ – випадкова величина тривалості коливання (кровонаповнення) кожної з хвиль з математичним сподіванням $M\{T\}$ та дисперсією $D\{T\}$, яка є показником відхилення.

Із урахуванням адитивного впливу на ПС зовнішніх та внутрішніх завад вираз (4) набуває вигляду:

$$\xi(t) = \sum_{n=1}^2 (A_n + \psi_A) \cdot e^{-\frac{(t-(m_n+\psi_m))^2}{2(T_n+\psi_T)^2}} + n(t), t \in [0, (t_{\max} + \psi_t)] \tag{5}$$

де $n(t)$ – завада типу білого шуму з математичним сподіванням $M\{n\}$ та дисперсією $D\{n\}$, яка є показником адитивного впливу.

Імітаційна модель пульсового сигналу із урахуванням періодичності та випадковості

Окрім випадковості, ПС характеризується періодичністю (природа породження ПС), яку необхідно урахувати у виразі (4). Врахування періодичності забезпечується шляхом моделювання k -ї кількості ПС $\xi_k(t)$ в межах k -х періодів T_k згідно виразу (5), відповідно від 0 до T_k , які в подальшому розташовуються на часовій осі в залежності від зони їх часового розташування, а часові області яким вони не належать доповнюються нулями згідно виразу:

$$\xi(t) = \sum_{k \in Z} \tilde{\xi}_k(t), \quad t \in R \quad (6)$$

де $\tilde{\xi}_k(t)$ – k -й періодично продовжений ПС по часовій осі, $\tilde{\xi}_k(t), t \in R$:

$$\tilde{\xi}_k(t) = \begin{cases} \xi_k(t), & t \in [T_{k-1}, T_k) \\ 0, & t \notin [T_{k-1}, T_k) \end{cases} \quad (7)$$

де $\tilde{\xi}_k(t)$ – періодично продовжений ПС по часовій осі, $\tilde{\xi}_k(t), t \in R$:

$\xi_k(t)$ – ПС в межах k -го періоду T_k , $\xi_k(t), t \in [0, T_k)$,

T_k – тривалість k -го періоду ПС, $T_1 \neq T_2 \neq \dots \neq T_k$.

На рис.4 зображено схему формування періодичного та випадкового ПС згідно виразу (5).

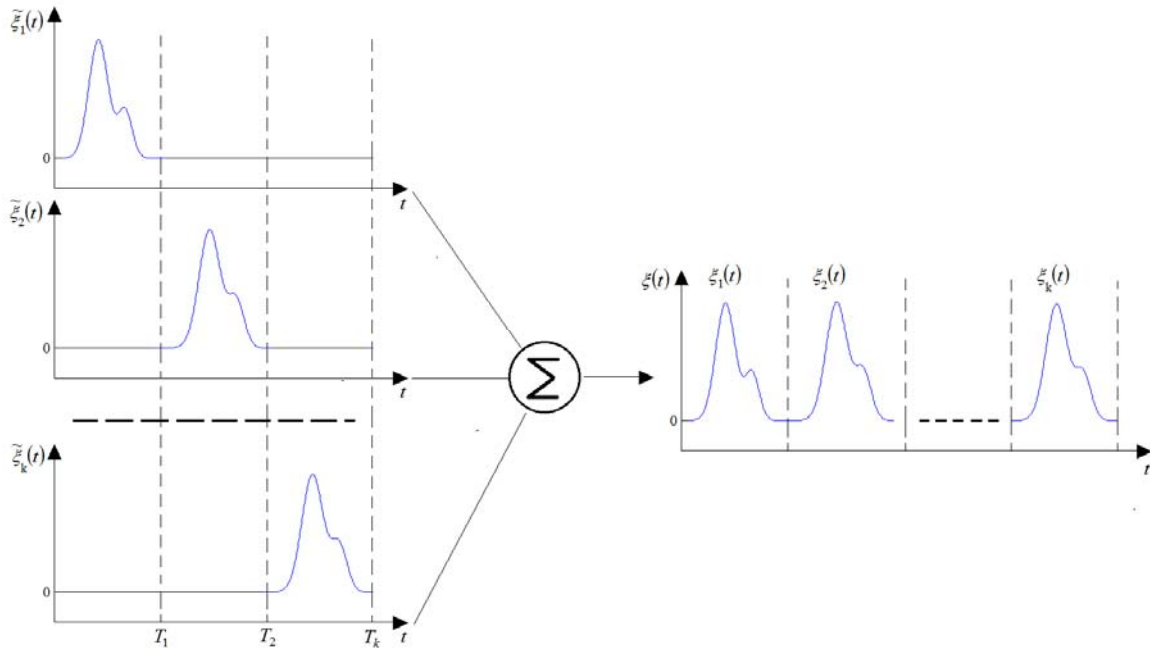


Рис. 4. Схема формування періодичного ПС

Вираз (6) із урахуванням виразів (5,7) описує імітаційну модель пульсового сигналу, яка враховує у своїй структурі випадковість та періодичність.

Результати комп'ютерного імітаційного моделювання пульсового сигналу

На основі виразів (4–6) розроблено комп'ютерне програмне забезпечення в середовищі MATLAB для імітування ПС:

```
clear all;
s=[];
% Параметри для фізіологічної норми-----
A1=2; % Амплітуда тах кровонаповнення (пряма хвиля)
m1=0.4; % Момент часу тах кровонаповнення (пряма хвиля)
T1=0.55; % Тривалість кровонаповнення (пряма хвиля)
A2=0.9; % Амплітуда тах кровонаповнення (відбита хвиля)
m2=0.66; % Момент часу тах кровонаповнення (відбита хвиля)
T2=0.55; % Тривалість кровонаповнення (відбита хвиля)
%-----
NT=6; % Кількість періодів NT
df=200; dt=1/df; % Частота df та час dt дискретизації
T1=T1/6; T2=T2/6; % Значення періодів з урах-нням правил з-ох сігм
A1_var=zeros(1,NT); % Початкові стани масиву амплітуд A1
A2_var=zeros(1,NT); % Початкові стани масиву амплітуд A1
T1_var=zeros(1,NT); % Початкові стани масиву тривалостей T1
T2_var=zeros(1,NT); % Початкові стани масиву тривалостей T2
m1_var=zeros(1,NT); % Початкові стани масиву моментів часу m1
```

```

m2_var=zeros(1,NT); % Початкові стани масиву моментів часу m2
WA1=normrnd(0,0.01,NT,1); % Генерування випадковості для амплітуди A1
WA2=normrnd(0,0.01,NT,1); % Генерування випадковості для амплітуди A2
Wm1=normrnd(0,0.01,NT,1); % Генерування випадковості для моменту часу m1
Wm2=normrnd(0,0.01,NT,1); % Генерування випадковості для моменту часу m2
WT1=normrnd(0,0.01,NT,1); % Генерування випадковості для тривалості T1
WT2=normrnd(0,0.001,NT,1); % Генерування випадковості для тривалості T2
%-----Процес генерування пульсового сигналу для K-періодів-----
for K=1:NT
    % Адитивний вплив випадковості на параметри сигналу K-го циклу (періоду)
    T1_var(K)=T1+WT1(K); m1_var(K)=m1+Wm1(K); A1_var(K)=A1+WA1(K);
    T2_var(K)=T2+WT2(K); m2_var(K)=m2+Wm2(K); A2_var(K)=A2+WA2(K);
    % Формування вісі часу
    t=0:dt:(m2_var+3*T2_var);
    % Генерування прямої та відбитої хвилі
    % Пряма хвиля
    s1=A1_var(K)*exp((-t-m1_var(K)).^2)/(2*(T1_var(K)^2));
    % Відбита хвиля
    s2=A2_var(K)*exp((-t-m2_var(K)).^2)/(2*(T2_var(K)^2));
    % Формування пульсового сигналу
    ss=s1+s2;
    T(K)=max(ss);
    % Пошук максимуму для K-го періоду та його момент часу
    for m=1:length(ss)
        if ss(m)==T(K) r(K)=m+length(s); end;
    end;
    %-----
    s=[s s1+s2]; % Пульсовий сигнал
end;
% Вплив випадкової послідовності на згенеровану послідовність сигналу
Dn=0;
n=normrnd(0,Dn,length(s),1)';
s=s+n;
t=(0:(length(s)-1)).*dt;
% Вивід графіку ПС
figure(1);
plot(t,s);
grid on;
axis tight;

```

Результат комп'ютерного імітування пульсового сигналу на основі вище розробленої програми в середовищі MATLAB зображено на рис. 5.

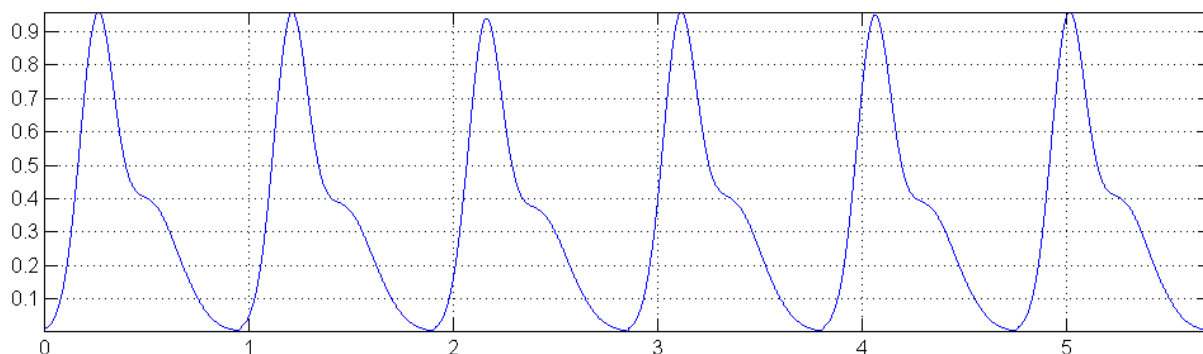
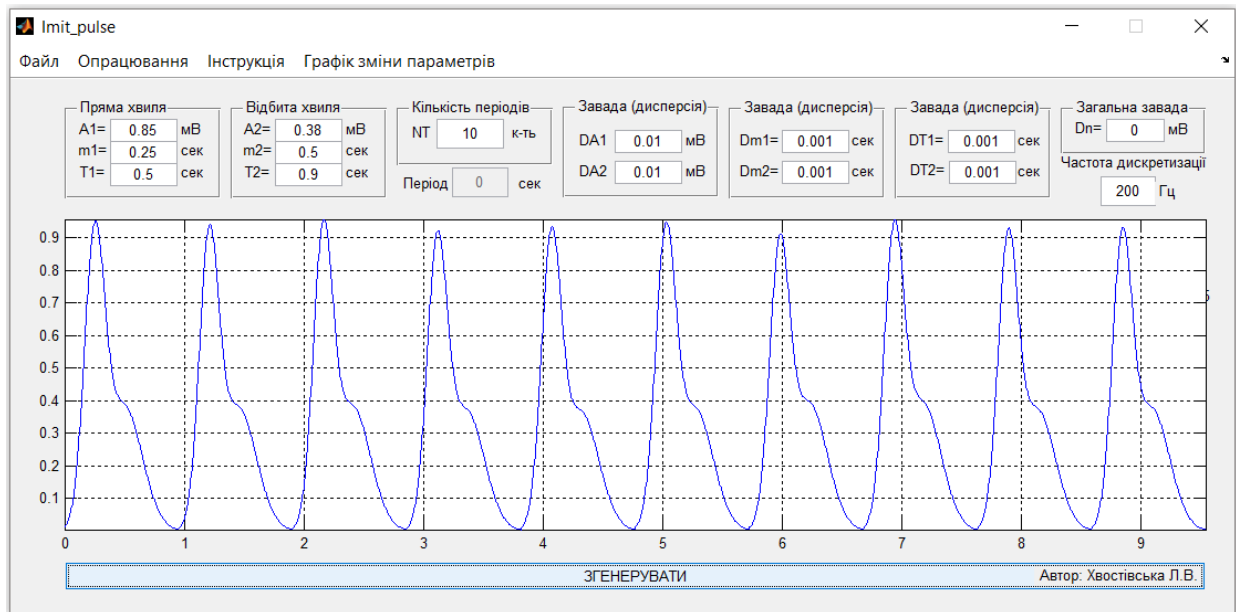
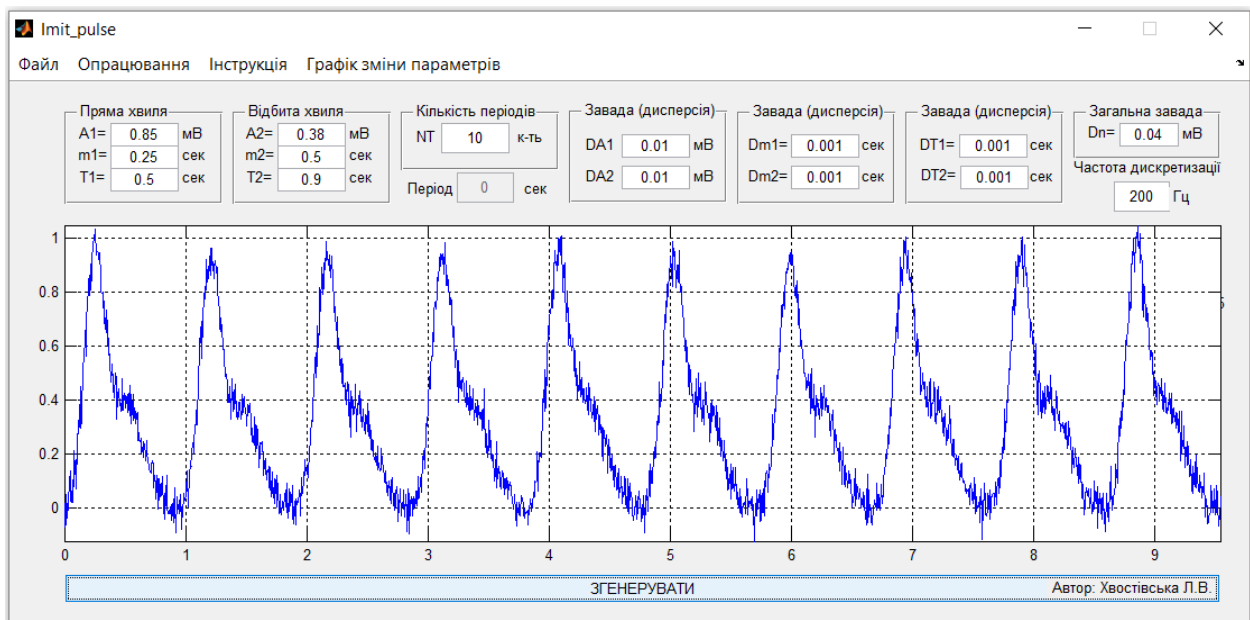


Рис. 5. Приклад реалізації імітованого пульсового сигналу

Використовуючи програмний модуль GUIDE, який є інтегрований в середовищі програми MATLAB, розроблено комп'ютерну програму із графічним інтерфейсом користувача для імітування пульсового сигналу. Результати роботи розробленої комп'ютерної програми зображено на рис. 6.



(а)



(б)

Рис. 6. Приклади реалізації імітованого пульсового сигналу: а) з урахуванням випадковості амплітудних та часових параметрів; б) з урахуванням випадковості амплітудних і часових параметрів та адитивного впливу зовнішньої завади

Результати комп'ютерного імітаційного моделювання пульсового сигналу підтверджено експериментальними сигналами (рис. 7).

На рис. 7 видно, що реалізація імітованого ПС в межах одного періоду повністю відображає форму експериментального сигналу із збереженням часових та амплітудних параметрів прямої та відбитої хвилі.

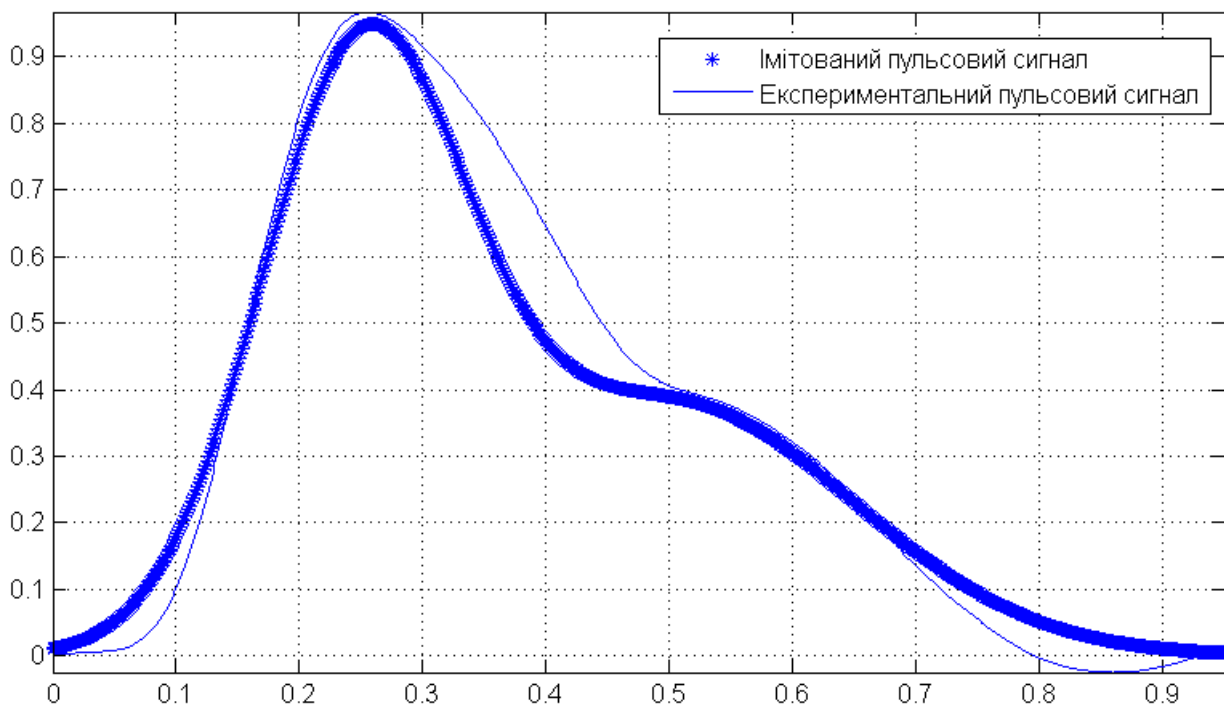


Рис. 7. Реалізації імітованого та експериментально зареєстрованого пульсових сигналів в межах одного періоду

Висновки

Розроблена імітаційна модель пульсового сигналу у вигляді періодично подовжених сум двох функцій нормального розподілу із урахуванням випадковості дає можливість за відомими медичними параметрами моделювати сигнали патологій і норм для задачі тестування результатів опрацювання пульсових сигналів у фотоплетизмографічних системах. Використовуючи засоби програмного забезпечення MATLAB реалізовано програму із графічним інтерфейсом користувача, яка імітує пульсовий сигнал з урахуванням періодичності та випадковості (реальна особливість пульсових сигналів).

Література

1. Нікітчук Т.М. Порівняльний аналіз методів реєстрації пульсової хвилі / Т.М. Нікітчук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2013. – № 1. – С. 183–186.
2. Акулов В. А. Модель пульсовой волны и её реализация в среде Excel / В.А.Акулов // Труды третьей Всероссийской научной конференции. Ч. 4: Математические модели в информационных технологиях. – Самара : СамГТУ, 2006. – С. 13–16.
3. Гніліцький В.В. Уточнення гармонічної моделі пульсової хвилі для експресдіагностики за пульсограмами / В. В. Гніліцький, Н. В. Мужичька // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2010. – № 4(55). – С. 28–38.
4. Михайлов Н.Ю. Математическая модель пульсовой волны / Н.Ю. Михайлов, Г.Н. Толмачев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2003. – № 6. – С. 3–9.
5. Самков С.В. Сверхширокополосный радар для измерения параметров сердечно-сосудистой системы человека при физических нагрузках / С.В. Самков, А.И. Черненко // II Всерос. научная конф.-семинар, 20 июня 2006 г., Муром. – 2006 – С. 475–479.
6. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов : учебное пособие для втузов. –13-е изд. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – Т.2. – 560 с.

Рецензія/Peer review : 4.3.2016 р. Надрукована/Printed :19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Паламар М.І.

Р.В. КОЧАН, Б.Р. ТРЕМБАЧ
Національний університет "Львівська політехніка"
Р.Б. ТРЕМБАЧ
Тернопільський національний економічний університет

КОНЦЕПЦІЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗВУКОВОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ РОЗВІДКИ НА БАЗІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Проаналізовано недоліки засобів звукової розвідки збройних сил України. Синтезовано структуру та функції основних компонентів розподіленої автоматизованої системи звукової артилерійської розвідки та обґрунтовано доцільність їхньої реалізації на базі терміналів стільникового зв'язку. Розроблено тестову програму для дослідження основних принципів звукової розвідки.

Ключові слова: звукова розвідка, мобільні пристрої.

R.V. KOCHAN, B.R. TREMBACH
National University "Lviv polytechnic"
R.B. TREMBACH
Ternopil National Economic University

THE CONCEPT OF A DISTRIBUTED SOUND SYSTEM OF AUTOMATIC ARTILLERY INTELLIGENCE-BASED CELLULAR COMMUNICATION

Analyzed the shortcomings means sound intelligence Armed Forces of Ukraine. Synthesized structure and functions of the main components of a distributed sound system automated artillery reconnaissance and expediency of their realization at the cellular terminals. Developed test program to study the basic principles of sound exploration.

Keywords: sound intelligence, mobile devices.

Вступ

Звукова розвідка є складовою частиною та одним із видів артилерійської розвідки. Методи і прилади, які застосовуються у звуковій розвідці, дозволяють визначати координати місцезнаходження артилерійських і мінометних батерей противника за звуком їхніх пострілів, а також коригувати вогонь своєї артилерії визначаючи місця фактичного влучення снарядів і мін за звуком їх вибухів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У 1909 році Бенуа М.О. створив зразок звукометричної станції і розробив метод роботи звукової розвідки, який увійшов в історію як метод "різниці часу". У 1930 році радянські конструктори А.І.Данилевський і А.В.Євтюхов створили звукометричну станцію ДС-30. У подальшому на озброєння підрозділів звукової розвідки надійшла більш сучасна станція СЧЗ-36. Після зміни системи синхронізації станція стала називатися СЧЗМ-36 [1, 2].

Особливо бурхливого розвитку техніка звукометрії набула у 70–90-х роках ХХ ст. На озброєння надійшли нові автоматизовані звукометричні комплекси АЗК-5 та АЗК-7. Власне ці комплекси і є основою звукової артилерійської розвідки збройних сил України. Їхнім недоліком є відносно малий радіус дії, який для артилерійських гармат не перевищує 20 км, а для мінометів – 8 км [3], що не дозволяє виявляти цілі, які працюють на максимальну дистанцію. Крім того, точність визначення координат цілей є досить низькою і для надійного ураження необхідно їх уточнювати з допомогою інших засобів розвідки. Швидкодія цих комплексів, а також засобів їхнього зв'язку не дозволяє ефективно протидіяти ворожій артилерії, особливо самохідній.

Українські військові спеціалісти, науковці, інженери та конструктори розробили сучасний автоматизований звукометричний комплекс розвідки "Положення-2", який пройшов випробування і показав значно кращі результати та можливості, ніж існуючі нині на озброєнні АЗК-5 та АЗК-7. Автоматизований звукометричний комплекс розвідки „Положення-2” оснащений ЕОМ, елементна база якого дає можливість швидко визначати координати артилерійських і мінометних батерей з високою точністю. Точність визначення координат на 15–20% вища, ніж у АЗК-5 та АЗК-7. Координати цілей, виявлених комплексом "Положення-2", одночасно відображаються на моніторі ЕОМ оператора і цифровому планшеті ЕОМ командира в реальному масштабі часу [4]. Однак кількість цих комплексів є недостатньою.

Організаційно підрозділи, що забезпечують звукову артилерійську розвідку – взводи звукової розвідки входять до складу батареї управління та артилерійської розвідки бригадних артилерійських груп та артилерійських дивізіонів і діють вони, перш за все, в їхніх інтересах [3]. Що, в умовах обмеженої кількості, не дозволяє вести розвідку всієї лінії зіткнення навіть на обмеженому театрі військових дій, а в умовах недостатньої координації між різними підрозділами робить їх слабо ефективним видом розвідки. Тому, розробка та впровадження ефективних засобів звукової розвідки, які забезпечують повною, адекватною, своєчасною та достовірною розвідувальною інформацією всі задіяні підрозділи є актуальною науково-технічною задачею.

В такому випадку відрізки BC та CA – катети прямокутного трикутника ABC, а відрізок BA – його гіпотенуза. Кут NDO рівний куту CAB і для нього справеджується

$$\sin(CAB) = \sin(NDO) = \frac{BC}{BA} = \frac{(t_2 - t_1) \times C}{L} = \frac{\Delta t \times C}{L} \quad (2)$$

де Δt – різниця часу реєстрації звуку пострілу двома звукоприймачами, L – довжина акустичної бази.

Таким чином вихідними даними при розрахунку напрямку на ціль є різниця часу реєстрації звуку між двома звукоприймачами, відстань між ними, та орієнтація акустичної бази на місцевості. Для визначення координати цілі необхідно визначити напрямки на ціль із, як мінімум, двох акустичних баз. При чому, один і той самий звукоприймач може входити в склад декількох акустичних баз.

Розподілена автоматична система звукової розвідки. Для усунення вказаних недоліків системи звукової розвідки збройних сил України пропонується розробити розподілену автоматичну систему, яка складається з множини автономних звукоприймачів – сенсорів розміщених на місцевості, підключених з допомогою безпроводних каналів зв'язку до сервера цієї системи. Сенсори забезпечують автоматичну реєстрацію, опрацювання та передавання інформації про акустичну обстановку в радіусі своєї дії. Сервер забезпечує збір інформації від сенсорів, її опрацювання та відображення, а також доступ до неї авторизованих користувачів.

Основним функціями сенсора є:

- визначення власних координат з допомогою супутникової навігаційної системи, наприклад GPS;
- дискретизація, квантування та зберігання прийнятих акустичних сигналів;
- розпізнавання звуків вистрілів та розривів снарядів на фоні акустичних шумів;
- класифікація типу озброєння – джерела звуку вистрілу;
- передача серверу інформації про час надходження акустичного сигналу, розпізнаного як вистріл або розрив снаряду, тип озброєння, та власні координати.

Одним з можливих режимів роботи сенсора може бути запис та передача серверу повністю прийнятого акустичного сигналу, що дозволить дистанційно прослуховувати ситуацію в радіусі дії сенсора. Ускладнення алгоритмів розпізнавання та класифікації може забезпечити виявлення не тільки пострілів, а і інших подій, що супроводжується акустичними сигналами. Наприклад проїзд техніки за звуком двигуна.

Основними функціями сервера є:

- синхронізація всіх сенсорів між собою;
- прийом інформації від сенсорів;
- розрахунок координат цілей;
- авторизація користувачів розвідувальної інформації;
- представлення координат цілей активним засобам протидії;
- архівування, зберігання та представлення всієї інформації про результати роботи системи у зручному вигляді.

Якщо задіяні канали зв'язку дозволяють надійний обмін інформацією з сенсорами на відносно велику відстань то такі сенсори можуть монтуватися на бойових та транспортних машинах, що забезпечить адекватність розміщення сенсорів при зміні конфігурації лінії зіткнення. При умові невеликих масо-габаритних розмірів сенсорів, відносно великого терміну автономної роботи, та конструктивній міцності їх можна буде розміщати і за лінією зіткнення з допомогою розвідувальних груп або закидувати з використанням авіаційних носіїв чи ракетно-артилерійського озброєння.

Інтеграція пропонованої системи з іншими, наприклад ГІС «Арта» [5, 6] здійснюється шляхом авторизації користувачів сервером та надання їм відповідної інформації в реальному часі з використанням провідних або безпроводних каналів зв'язку.

При використанні мережі стільникового зв'язку для взаємодії компонентів системи, а як сенсорів сучасних терміналів стільникового зв'язку – смартфонів з встановленим відповідним програмним забезпеченням. Це дозволить побудувати систему звукової артилерійської розвідки в місцях наявності покриття мережею стільникового зв'язку. Розробка та модифікація програмного забезпечення таких сенсорів є нескладним завданням, а зважаючи на відносно низьку вартість самих терміналів, розвиненість інфраструктури стільникового зв'язку, загальнонаціональне покриття території України мережею стільникового зв'язку, автоматичний роумінг з сусідніми країнами такий підхід можна вважати доцільним. Крім того широка розповсюдженість таких терміналів забезпечить живучість та надійність системи, а також дозволить проводити статистичне опрацювання результатів вимірювання, що дозволить суттєво підвищити точність системи [7].

Для дослідження можливості реалізації системи звукової розвідки на базі терміналу стільникового зв'язку було створено тестову програму на базі операційної системи Android, вікно якої представлено на рис. 2.

Програма зчитує дані з таких системних пристроїв: GPS приймач, системний годинник, мікрофон, та передає їх на сервер через мережевий контролер. Це забезпечує визначення географічних координат терміналу, зчитування аналіз та зберігання дискретизованих акустичних сигналів, що поступають на мікрофон.

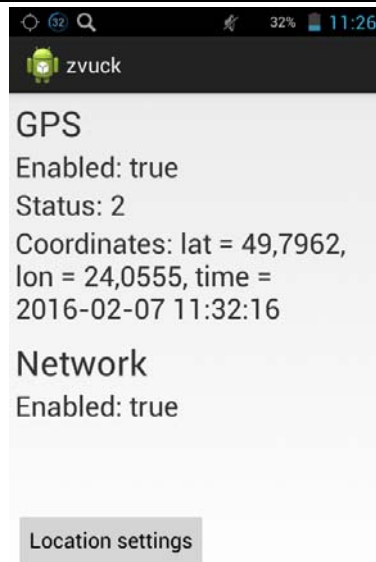


Рис. 2. Вікно тестової програми

Висновки

Використання мобільних пристроїв як бази для побудови системи звукової артилерійської розвідки дозволить автоматизувати збір, опрацювання та передачу даних про оперативну обстановку. Широке розповсюдження таких пристроїв дозволить побудувати систему з великою кількістю каналів, які перекриваються за радіусом дії, що забезпечить надійність та живучість системи, а також дозволить вивести взводи звукової розвідки зі структури збройних сил. Автоматизація зв'язку між різними підрозділами та окремими бійцями забезпечить можливість їхньої інтеграції у систему управління військами, що може значно підвищити взаємодію та інформованість всіх зацікавлених починаючи від начальника генерального штабу і закінчуючи рядовими на полі бою.

Розроблена тестова програма на базі операційної системи Android, забезпечує доступ до всіх необхідних системних пристроїв, а також спрощений алгоритм розпізнавання звуку вистрілу. Використання операційної системи Android забезпечує портованість розробленого програмного забезпечення.

Література

1. Таланов А.В. Звуковая разведка артиллерии. – М. : Военное издательство министерства вооруженных сил союза ССР, 1948. – 404 с.
2. Трофименко П.Є. Звукометричній станції розвідки – 100 років / П. Є. Трофименко, Ю. Г. Філіпенко // Вісник СумДУ. – 2009. – № 3. – С. 198–202.
3. Кривошеев А.М. Основи артилерійської розвідки / Кривошеев А.М., Петренко В.М., Приходько А.І. – Суми : СумДУ, 2014.
4. НДР "Положення - РБЗ". – Суми : НЦ БЗ РВ і А Сум ДУ, 2008. – 115 с.
5. Інновації для армії. Система для артилеристів ГІС "Арта" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://life.pravda.com.ua/technology/2015/06/2/194846/>
6. ГИС «Арта» – незаменимая помощь артиллеристу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://arta.center/#ua> .
7. Дорожовець М. М. Опрацювання результатів вимірювань : навч. посіб. / М. М. Дорожовець. – Л. : Нац. ун-т "Львів. політехніка", 2007. – 624 с.

Рецензія/Peer review : 15.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Дивак М.П.

УДК 629.34.0138 (043.3)

В.А. СІВАК

Національна академія Державної прикордонної служби ім. Б. Хмельницького

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ КОНТРОЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ПУНКТИВ ОРГАНІВ ТА ГАРАЖІВ ПІДРОЗДІЛІВ ОХОРОНИ КОРДОНУ

В даній статті розкрито сутність, зміст та структуру моделі комплексного контролю технічного стану транспортних засобів в умовах виходу з контрольно-технічних пунктів органів та гаражів підрозділів охорони кордону.

У статті висвітлена послідовність та специфіка застосування експрес-методу для визначення технічного стану транспортних засобів. При цьому, під час контролю технічного стану знімаються діагностичні параметри тільки тих основних показників, які об'єктивно відображають стан експлуатаційної безпеки. В послідуєчому, вони класифікуються та ранжуються за рівнями безпечності, а також надаються рекомендації про доцільність подальшої експлуатації даних зразків транспортних засобів.

В процесі імітаційного моделювання використано авторське програмне забезпечення, яке побудоване на відомих методах, що забезпечує достатню валідацію та дає підстави стверджувати про відповідність процедури контролю технічного стану транспортних засобів реальному процесу в умовах гаражів відділів та контрольно-технічних пунктів органів охорони кордону.

Ключові слова: контроль технічного стану, експлуатаційна безпека, показники, параметри, транспортні засоби.

V.A. SIVAK

National Academy of State Borderguard service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi

MODEL OF INTEGRATED CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES IN TERMS OF CONTROL AND TECHNICAL POINTS OF BODIES AND GARAGES OF BORDER GUARDS UNITS

This article reveals the essence, content and structure of the model for complex monitoring of technical condition of vehicles in the terms of control and technical points of bodies and garages of border guards units. The article highlights the sequence and specifics of application of the rapid method for determination of technical condition of vehicles. In this case, during control of a technical condition of the diagnostic parameters are removed only those core indicators that objectively reflect the state of operational safety. Subsequently, they are classified and ranked according to the security levels and provides recommendations on the advisability of further operation data of the vehicles. In the process of simulation modelling used software copyright, which is built on known methods, hat provides sufficient validation and gives grounds to assert compliance procedures for monitoring the technical condition of vehicles in real process conditions in garages departments and control and technical points of the border protection authorities.

Key words: control of technical condition, operational safety, indicators, parameters, vehicle.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Відповідно законів України, захист її національних інтересів в сфері прикордонної безпеки здійснюють підрозділи та органи Державної прикордонної служби України (ДПСУ), які для забезпечення оперативності, та мобільності використовують достатню кількість сучасних транспортних засобів (ТЗ) [1].

Поряд з тим, в процесі використання даних ТЗ за призначенням, досить актуально постає проблематика у забезпеченні їх експлуатаційної безпеки на усіх режимах технічної експлуатації [2].

В ході проведених досліджень із вирішення проблематики забезпечення експлуатаційної безпеки ТЗ підрозділами і органами ДПСУ та з метою підвищення рівня контролю технічного стану даних ТЗ, автором виявлена можливість удосконалення та впровадження експрес-методу поглибленого діагностування ТЗ, для підвищення рівня контролю їх технічного стану, результати якої викладено в матеріалах [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Загалом, дослідження питань контролю технічного стану ТЗ шляхом проведення комплексу діагностичних робіт та з метою забезпечення експлуатаційної безпеки ТЗ в процесі їх технічної експлуатації, здійснювалось в наукових працях таких відомих вчених, як Говорушенко Я.Д., Мороз С.М., Русаков В.З., Шаша І.К. та інші [4, 5]. Однак, враховуючи специфіку експлуатації ТЗ в умовах охорони державного кордону та з метою удосконалення процесу контролю ТЗ, за рахунок застосування запропонованого експрес-методу, існує необхідність провести моделювання процесу комплексного контролю технічного стану ТЗ при їх виході, як з (контрольно-технічних пунктів) КТП органів ДПСУ так і з гаражів прикордонних підрозділів.

Метою даної статті є розкриття сутності, змісту та структури моделі комплексного контролю технічного стану ТЗ в умовах КТП органів ДПСУ та гаражів прикордонних підрозділів із урахуванням процесу експрес-діагностики та отримання значень діагностичних параметрів за критеріями експлуатаційної безпеки.

Викладення основного матеріалу дослідження. В рамках реалізації методологічного аспекту розробленої автором Концепції забезпечення безпечної експлуатації ТЗ підрозділів і органів охорони державного кордону (ООДК) в умовах здійснення охорони державного кордону, сутність якої викладена в

матеріалах [6], пропонується розроблена модель комплексного контролю технічного стану ТЗ в умовах КТП ООДК та гаражів прикордонних підрозділів.

Загалом процедура контролю технічного стану ТЗ, як на відділах прикордонної служби (ВПС), так і в ООДК проходить за одним алгоритмом, який викладений у матеріалах [7], при цьому перевірка здійснюється безпосередньо перед виходом ТЗ в рейс. Перевіряється зовнішній вигляд ТЗ, стан кріплення основних вузлів та агрегатів, їх робота в холостому режимі, а також перевіряються механізми та системи, які відповідають за безпеку руху ТЗ. Традиційно, технічний персонал в ході перевірки використовує органолептичні методи, а також методи вимірювання параметрів основних показників, за допомогою простих діагностичних засобів.

Запропонований експрес-метод поглибленого контролю технічного стану ТЗ, основна сутність якого полягає у швидкому знятті діагностичної інформації з бортових мереж ТЗ, порівняння з еталонними параметрами заводів-виробників, прогнозуванні виникнення можливих несправностей або відмов систем, які відповідають за безпечну експлуатацію ТЗ, а також послідує ранжування за шкалою безпечності.

Крім того, інформація про ТЗ може використовуватись, як в автономному режимі так і в режимі передачі інформації на сервер в режимі он-лайн для прийняття рішення про можливість виходу ТЗ в рейс, з погляду експлуатаційної безпеки.

Для проведення процесу перевірки адекватності даного методу та з метою покращення якості контролю технічного стану ТЗ в умовах гаражів підрозділів та КТП ООДК побудуємо імітаційну модель даного процесу.

Для відповідності процедури моделювання контролю технічного стану ТЗ реальному процесу та з метою визначення стану експлуатаційної безпеки, запропоновано 20 основних її показників, параметри яких використовуються, як вихідні дані при моделюванні. Еталонні значення параметрів даних показників, які визначені заводами-виробниками відповідних ТЗ представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Еталонні значення параметрів основних показників експлуатаційної безпеки типових моделей ТЗ, які знаходяться на оснащенні підрозділів та ООДК

№ з/п	Основні показники експлуатаційної безпеки	Марка ТЗ, який використовується для виконання завдань з охорони ДК						
		УАЗ-«Патріот»	ВАЗ-Ніва-Шевроле	Шкода-Octavia	Ford-Renger	Renault-Duster	Volkswagen-Passat	Volkswagen-Amarok
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Температура охолоджувальної рідини (Т °С)	40-97	40-98	40-99	40-95	40-96	40-98	40-99
2.	Рівень масла у двигуні	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0-0,8
3.	Рівень тиску масла у двигуні	0,7-0,5	0,7-0,5	0,7-0,5	0,7-0,5	0,7-0,5	0,7-0,5	0,7-0,5
4.	Температура масла в двигуні градусів (Т °С)	40-49	40-49	40-49	30-45	35-45	40-55	40-60
5.	Відсутність витоків газів в системі випуску	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6.	Відсутність витоків газів в системі випуску	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
7.	Рівень вмісту відпрацьованих газів	0,8-0,6	0,8-0,6	0,8-0,6	0,8-0,6	0,8-0,6	0,8-0,6	0,8-0,6
8.	Герметичність системи живлення	1	1	1	1	1	1	1
9.	Стан пасів безпеки	1	1	1	1	1	1	1
10.	Стан подушок безпеки	-	-	1	1	1	1	1
11.	Робота системи ABS	1	1	1	1	1	1	1
12.	Включення стоп-сигналів	1,0-0,75	1,0-0,75	1,0-0,75	1,0-0,75	1,0-0,75	1,0-0,75	1,0-0,75
13.	Стійкість ТЗ при гальмуванні	1	1	1	1	1	1	1
14.	Тиск гальмівного приводу (МПа)	6,0-14,0	6,0-12,0	6,0-13,0	6,0-14,0	6,0-14,0	6,0-14,0	6,0-14,0
15.	Ефективність робочої гальмівної системи	1	1	1	1	1	1	1
16.	Стан гідропідсилювача ру	1	1	1	1	1	1	1
17.	Величина кута рульового керма (градусів)	17,0-15,0	16,0-14,0	17,0-15,0	17,0-15,0	17,0-14,0	17,0-14,0	17,0-15,0

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18.	Стан фар освітлення	1	1	1	1	1	1	1
19.	Стан сигнальних ліхтарів	1	1	1	1	1	1	1
20.	Контроль тиску в шинах (МПа)	2,0-2,4	2,2,-2,4	2,2-2,0	2,4-2,6	2,2-2,4	2,2-2,4	2,4-2,6

Для кожного з цих показників розроблялись діапазони експлуатаційної безпеки, які у послідовному розподілились за рівнями безпеки. При цьому, для семи типових марок ТЗ, які є на оснащенні підрозділів та ООДК були проведені виміри основних параметрів показників, а також здійснено перевірку їх відповідності еталонним значенням (тобто тим, які визначені заводами-виробниками).

В процесі дослідження виявлено, що показники № 2, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 18, 19 – з причини досить обмежених інформативних можливостей діагностичних приладів зчитувати інформацію з бортових мереж ТЗ в гаражі ВПС необхідно визначати органолептичними методами, проте при наявності відповідних мотор-тестерів на КТП ООДК кількість операцій органолептичними методами – мінімізується.

Показники № 2, 9, 10, 12, 16, 18, 19 – для зручності розрахунків було приведено до виду від 0 до 1 з деякими інтервалами значень. Так, наприклад рівень масла у двигуні (показник №2) для кожної марки ТЗ може бути різний за об'ємом, проте ми приводимо ці дані до вигляду 1.0 – максимальний рівень; 0,3 – мінімальний рівень, при цьому у даних межах експлуатація ТЗ вважається безпечною. Рівень нижчий за мінімальний, тобто від 0,25 до 0, вважається критичним і експлуатація даного зразка ТЗ вважається небезпечною (заклинить двигун і можливе створення аварійної ситуації).

Показники № 6, 8, 11, 15 – у зв'язку із специфікою протікання реального процесу, ми можемо визначати «справно» або «не справно», наприклад робота системи ABS (показник № 11) оцінюється «справною», якщо функціонують усі елементи даної системи, при цьому якщо хоча би один з колісних датчиків ABS виходить з ладу – тоді уся система рахується «не справною». Тому, для зручності розрахунків дані цих показників було приведено до виду 0 або 1.

Після зняття усіх параметрів основних показників експлуатаційної безпеки на кожному із вибраних для дослідження марок цих ТЗ, було проведено класифікацію та ранжування за рівнем небезпеки на три основні групи:

1. **Безпечна** – тобто у дану групу потрапили показники, які відповідають еталонним параметрам, які визначені заводами-виробниками ТЗ та вказані в технічній документації на автомобіль. При цьому експлуатація даного ТЗ вважається безпечною, ймовірність виникнення небезпечних несправностей знаходиться у межах 0...0,2.

2. **Допустимо безпечна** – у дану групу потрапили показники, які хоча і не в повній мірі відповідають еталонним параметрам, які визначені заводами-виробниками ТЗ, проте допускають можливість безпечної експлуатації ТЗ упродовж певного періоду часу. При цьому експлуатація даного ТЗ вважається допустимо безпечною, а ймовірність виникнення небезпечних несправностей знаходиться у межах 0,3...0,5.

3. **Небезпечна** – у дану групу потрапили показники, які частково або повністю не відповідають еталонним параметрам, які визначені заводами-виробниками ТЗ, і не допускають можливість безпечної експлуатації ТЗ упродовж певного періоду часу. При цьому експлуатація даного ТЗ вважається небезпечною, а ймовірність виникнення небезпечних несправностей знаходиться у межах 0,6...0,9.

Приклад результатів ранжування отриманої інформації для автомобіля марки Ford-Renger представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

Інформація про ранжування показників експлуатаційної безпеки при перевірці технічного стану автомобіля марки Ford-Renger

№ з/п	Основні показники експлуатаційної безпеки	Розподіл параметрів показників експлуатаційної безпеки за класифікаційними рівнями		
		Безпечна	Допустимо безпечна	Небезпечна
1	2	3	4	5
1.	Температура охолоджувальної рідини (Т °С)	40-95	96-105	106-120
2.	Рівень масла у двигуні	1,0-0,8	0,7-0,3	0,25-0,1
3.	Рівень тиску масла у двигуні	0,7-0,5	0,4,-0,3	0,2-0
4.	Температура масла в двигуні градусів (Т °С)	30-45	46-65	66-90
5.	Відсутність витоків газів в системі випуску	1,0	0,75-0,5	0,45-0
6.	Роз'єднання в системі вентиляції картера	1	0	0
7.	Рівень вмісту відпрацьованих газів	0,8-0,6	0,5-0,3	0,2-0
8.	Герметичність системи живлення	1	0	0
9.	Стан пасів безпеки	1	0,5	0
10.	Стан подушок безпеки	1	0,5	0

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
11.	Робота системи ABS	1	0	0
12.	Включення стоп-сигналів	1,0-0,75	0,5-0,25	0,25-0
13.	Стійкість ТЗ при гальмуванні	1	0,5	0
14.	Тиск гальмівного приводу (МПа)	6,0-14,0	15,0-17,0	18,0-20,0
15.	Ефективність робочої гальмівної системи	1	0	0
16.	Стан гідропідсилювача РУ	1	0,5	0
17.	Величина кута рульового керма (градусів)	17,0-15,0	14,0-10,0	9,0-7,0
18.	Стан фар освітлення	1	0,5	0
19.	Стан сигнальних ліхтарів	1	0,5	0
20.	Контроль тиску в шинах (МПа)	2,4-2,6	2,3-1,6	1,5-0

Маючи дані по кожному із семи ТЗ, можливо змоделювати процес контролю технічного стану за критеріями та рівнями експлуатаційної безпеки.

Введемо модель для визначення контролю технічного стану зразка ТЗ.

Нехай $A = \{a_i \mid a_i \in A, i = 1..n\}$ – множина n показників для контролю технічного стану ТЗ.

Належність точки $A(x, y)$ відрізка, заданому точками $B(x_1, y_1)$ та $C(x_2, y_2)$ можна визначити наступним чином. Точки відрізка (позначимо z) можна описати рівнянням:

$$pOB + (1 - p)OC = z, \tag{1}$$

де $0 \leq p \leq 1$, OB та OC – вектори.

Якщо існує таке p , $0 \leq p \leq 1$, що:

$$pOB + (1 - p)OC = A, \tag{2}$$

То A належить відріжку, в іншому випадку – ні.

За координатами, рівність розписується наступним чином:

$$px_1 + (1 - p)x_2 = x, \tag{3}$$

$$py_1 + (1 - p)y_2 = y. \tag{4}$$

Із рівняння (3) знаходимо p та підставляємо у вираз (4): якщо отримуємо рівність та $0 \leq p \leq 1$, то A належить відріжку, в іншому випадку – ні.

Для випадку визначення належності числового значення (x) числовому проміжку $[x_1, x_2]$, досить використати рівність (3). Тоді із (3):

$$p = \frac{x - x_2}{x_1 - x_2}. \tag{5}$$

Якщо $0 \leq p \leq 1$, то $x \in [x_1, x_2]$, в іншому випадку – ні.

Введемо функцію:

$$h(x, x_1, x_2) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \frac{x - x_2}{x_1 - x_2} \leq 1 \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases} \tag{6}$$

Виходячи з того, що результат справності автомобіля впливає з належності кожного показника одному з 3-х інтервалів (безпечна експлуатація ($[x_1, x_2]$), мінімальна безпека ($[x_3, x_4]$), небезпечна експлуатація ($[x_5, x_6]$)), введемо функцію для визначення належності показника x одному з заданих інтервалів:

$$hh(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x) = h(x, x_1, x_2) + h(x, x_3, x_4) \cdot 100 + h(x, x_5, x_6) \cdot 10000 \tag{7}$$

$$H(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x) = \begin{cases} 1, & hh(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x) = 1 \\ 2, & hh(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x) = 100 \\ 3, & hh(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x) = 10000 \\ 0, & hh(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x) = 0 \end{cases} \tag{8}$$

Інтегральне подання контролю справності автомобіля отримаємо сумуючи $hh()$ по всіх показниках (кількість показників – менша 100):

$$HH = \begin{cases} 1, & \sum hh() < 100 \\ 2, & 100 \leq \sum hh() < 10000 \\ 3, & \sum hh() \geq 10000 \end{cases} \tag{9}$$

Усі дані з ТЗ знімаються за допомогою простого діагностичного пристрою (так званої діагностичної шини типу ODB-II) та передаються на пристрій, який обробляє отриману інформацію (айфон, планшет або ноутбук) та за допомогою спеціальної програми (рис.1) передає її в режимі он-лайн на сервер інженерно-технічного відділу ООДК (для створення програми використано PHP, MySQL, nginx).

Тобто в процесі імітаційного моделювання використано авторське програмне забезпечення, яке

побудоване на існуючих сучасних технологіях отримання діагностичної інформації (HTML, JavaScript), методах передачі інформації на сервер, а також методах класифікації та ранжування параметрів за категоріями безпечності.

На головному сервері інженерно-технічного відділу ООДК, ці дані проходять процедуру порівняння з еталонними даними (показниками, які визначені заводами-виробниками ТЗ) та процедуру класифікації та ранжування за рівнями експлуатаційної безпеки, після чого знову надходять на пристрій (айфон, планшет або ноутбук) у вигляді скриншоту чи таблиці з узагальненими даними і висновком про доцільність або недоцільність випуску даного зразка ТЗ у рейс. Передача даних реалізована за REST протоколом. При цьому слід відмітити, що якщо хоча би один параметр із 20 показників не відповідає безпечним секторам – автомобіль вважається небезпечним в експлуатації.

Певним часом на сервері накопичується досить великий об'єм інформації, як по кожному конкретному зразку ТЗ (що відображає еволюцію експлуатації даного ТЗ протягом певного періоду), а також інформація про типові несправності ТЗ, особливо ті, які є небезпечними і впливають на стан їх експлуатаційної безпеки.

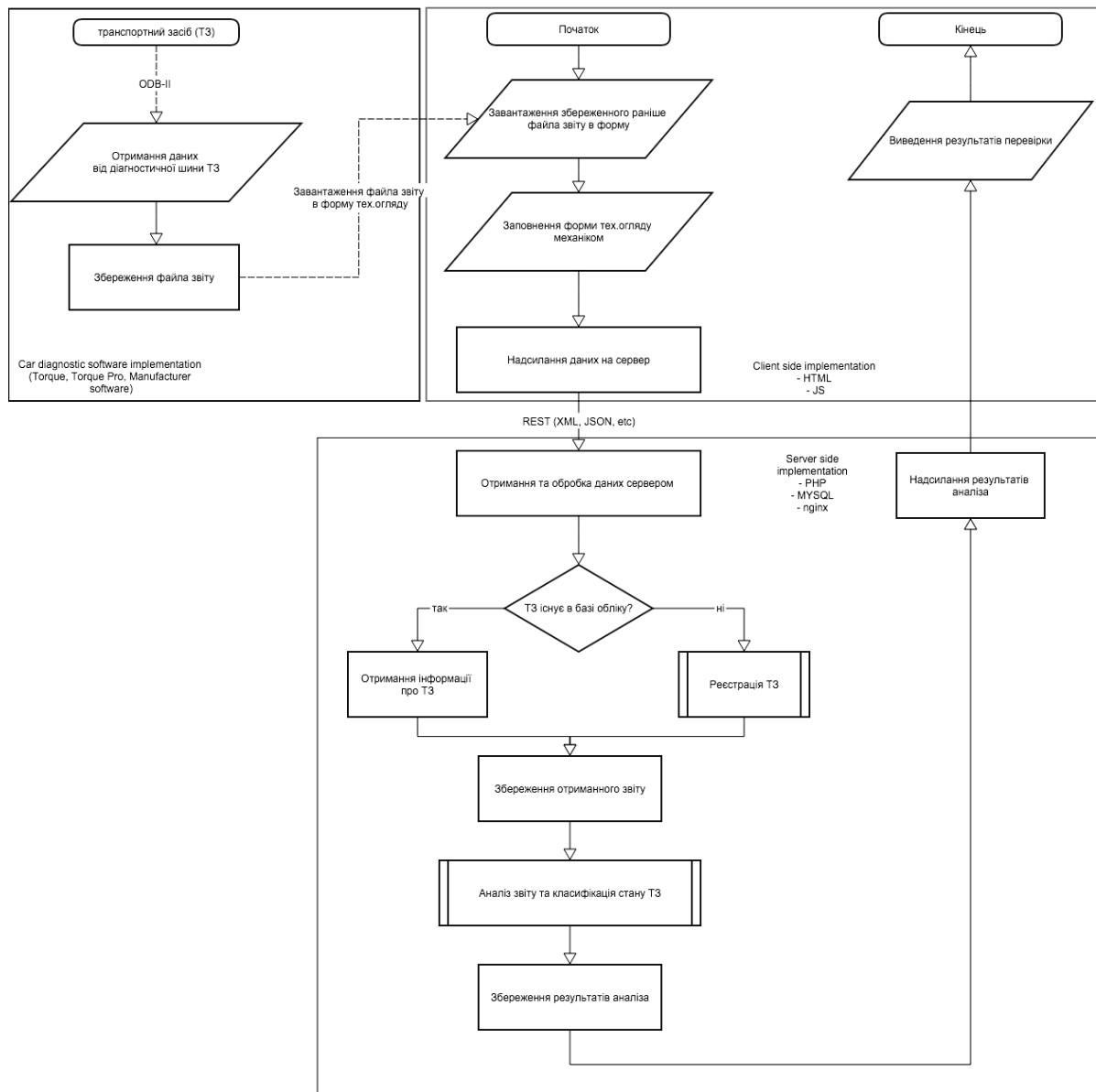


Рис. 1. Схема роботи програмного забезпечення з отримання, аналізу та передачі інформації про технічний стан ТЗ за критеріями експлуатаційної безпеки

Рекомендація щодо застосування ТЗ: Не випускати	
Основні показники експлуатаційної безпеки	Рівень безпеки
✓ Температура охолоджувальної рідини, градусів С	67
● Рівень масла у двигуні	0.6
✓ Рівень тиску масла у двигуні, МПа	0.6
✓ Температура масла в двигуні, градусів С	42
● Відсутність витоків газів в системі випуску	0.5
✓ Роз'єднання в системі вентиляції картера	1
✓ Рівень вмісту відпрацьованих газів	0.8
✓ Герметичність системи живлення	1
✓ Стан пасів безпеки	1
✓ Стан подушок безпеки	1
● Робота системи ABS	0
✓ Включення стоп-сигналів	0.75
● Стійкість ТЗ при гальмуванні	1
✓ Тиск гальмівного приводу, МПа	12.0
✗ Ефективність робочої гальмівної системи	0
✓ Стан гідропідсилювача РУ	1
✓ Відповідність кута рульового керма, градусів	16.0
✓ Стан фар освітлення	1
✓ Стан сигнальних ліхтарів	1
✓ Контроль тиску в шинах, МПа	2.2

Рис. 2. Скриншот перевірки технічного стану зразка ТЗ з розподіленими параметрами за рівнями безпеки та рекомендаціями про подальшу експлуатацію.

Відповідно, маючи інформаційну базу даних про типові та особливо небезпечні несправності ТЗ обраних марок, можливо в подальшому здійснити розробку моделі прогнозування можливих несправностей, які впливають на безпеку експлуатації ТЗ в умовах виконання оперативно-службових завдань з охорони державного кордону.

Висновок: Таким чином, отримана модель комплексного контролю технічного стану ТЗ в умовах виходу з КТП органів охорони кордону та гаражів прикордонних підрозділів, дасть змогу відобразити послідовність процесу контролю технічного стану ТЗ, при застосуванні експрес-методу поглибленого діагностування в реальних умовах експлуатації ТЗ на кордоні.

Література

1. Про Державну прикордонну службу України : закон України (зі змінами, внесеними згідно із Законом № 965IV (96515) від 19.06.2003) // Відомості Верховної Ради. – 2003. – № 27. – Ст. 208.
2. Сівак В. А. Аналіз сучасного стану забезпечення безпеки експлуатації транспортних засобів органів охорони державного кордону / В. А. Сівак, О.Й. Мацько // Труди університету. – К. : Вид-во НУОУ, 2015. – № 3(130). – С. 207–210.
3. Сівак В. А. Метод поглибленої діагностики технічного стану агрегатів та систем транспортних засобів і визначення нормативних значень діагностичних параметрів / В. А. Сівак // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – К. : Вид-во ЦНДІ ОВТ, 2015. – № 4(130). – С. 207–215.
4. Мороз С.М. Задачи современного развития диагностики автомобилей / С.М. Мороз // Автомоб. трансп.: Обзор, информ. Сер. 3. Техн. эксплуатация и ремонт автомоб. / Мин-во автомоб. трансп. РСФСР, ЦБНТИ. – М., 1990. – Вып. 7. – 60 с.
5. Шаша І.К. Основні напрямки використання математичних методів для оцінки експлуатаційних якостей автомобіля при аналізі ДТП / І.К. Шаша // Науково-технічний вісник «Безпека дорожнього руху України». – К. : ТОВ „Журнал „Радуга”, 2005. – № 1-2. – С. 127–134.
6. Сівак В.А. Концепція безпечної експлуатації транспортних засобів в умовах охорони державного кордону / В.А. Сівак // Збірник наукових праць НАДПСУ. Серія: військові і технічні науки : наукове видання. –Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2015. – № 2(64). – С. 204–211.
7. Наставление по танко- и автотехническому обеспечению войск КГБ СССР : приказ Комитета Госбезопасности СССР от 17 сентября 1980 года № 175. – М. : КГБ СССР, 1980. – 57 с.

Рецензія/Peer review : 6.2.2016 р. Надрукована/Printed :19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., доцент Осташевський С.А.

UDC 621

RÓBERT SÁSIK, MATÚŠ KOVALÍČEK, MICHAL HOČ,
PETER SPIŠÁK, RUDOLF MADAJ
University of Žilina, Slovakia

MANUFACTURING OF THE SPARE PARTS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY USING 3D PRINT WITH SLM METHOD

The main idea of the production process of the spare part was to use such a component, which will have specific characteristics. For instance, resistance against wear out and good mechanical properties. This component is usually not producible by conventional chip machining methods such as turning, milling etc.

Key words: Rapid prototyping, Selective laser melting.

РОБЕРТ САСИК, МАТУС КОВАЛІЧЕК, МИХАЛ ХОЦ, ПЕТР СПИСАК, РУДОЛЬФ МАДАЙ
Університет в Жиліні, Словачія

ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ 3D ДРУКУ З МЕТОДОМ SLM

Основна ідея процесу виробництва запасних частин полягає у використанні компонента, який буде мати специфічні характеристики. Наприклад, володіти стійкістю до зносу і хорошими механічними властивостями. Цей компонент, як правило, не вироблений з допомогою традиційних методів обробки стружки, таких як токарна обробка, фрезерування і т. д.

Ключові слова: швидке прототипування, селективна лазерна плавка.

Introduction

Machine AM250 from the company Renishaw belongs to SLM technologies of Rapid Prototyping (www.renishaw.com). University of Žilina uses this device in its laboratory of Rapid Prototyping.

Laser melting belongs to Additive manufacturing technologies that uses very strong Ytterbium threads laser for the melting of very fine metallic powders. The main goal is to create functioning 3D parts.

The production process is based on 3D CAD model that is virtually divided into separate layers. These layers are 2D curves from 20 μm to 100 μm thick. Sequential deposition of different layers of metallic powder and its melting by laser beam in an inert atmosphere produces a three-dimensional metal part. The inert atmosphere is usually filled with argon. The finished work may be removed from the machine. Afterwards, the part can be tooled with heat and surface finishing.

Typical applications for the technology of laser melting:

- Production of prototype parts suitable for functional test,
- Production of implants, or parts with very complex shape,
- Piece and small-batch production of complex parts from specific materials.

AM250 machine allows quick evacuation of the working space, which is immediately filled with a clean argon gas that ensures a clean environment for reactive materials, e.g. titanium. In this case, the content of oxygen in the working area has to be as low as possible. The gas consumption is minimized by the use of perfectly tight and well-welded chamber, which also contributes to the robustness of the machine. AM250 can process non-reactive materials in the nitrogen atmosphere.

AM250 uses the outer powder cartridge with valve closure. This allows the addition of material during the manufacturing process. The powder cartridge can be removed when it is necessary to clean up the machine or exchange cartridges with different materials. Cartridges for the collection of fall over material are located outside the working zone and have their own shut off valves. This allows the re-use the unused material. The cartridge with unused material can be taken out, sifted out and re-used even during the manufacturing process. Manipulation with powder and with the product itself is possible using gloves, which are placed in the doorway into the working area. The filter protects the contact of the user with the emissions that arise during the process.

The device AM250 has been designed for the manufacturing industry with a simple touch screen and rugged construction. Machine AM250 can produce many different parts for the series production. It can create implants, complex grid structures, or detailed geometric shapes for aerospace industry. With the extension of the Z axis, it is possible to produce components up to max 360mm.

The whole process of preparation of data and programming is done offline, so the whole production process is precisely controlled. Software for the pre-processing enables various improvements of the process for advanced users.

Features of AM250:

- Reduction of production time period,
- The production cost reduction of models,
- Production of complex products,

- Ideal for practical use in the medical, aviation and space industries,
- Ability to produce high parts thanks to the extended Z-axis.

Table 1

Technical data of AM250 device (source: renishaw.com)

AM250	
Max. dimensions of a part	250 x 250 x 300 mm (X, Y, Z) Z-axis is extended to 360 mm
Production speed*	5–20 cm ³ per hour
Speed of scan	Up to 2000 mm/s
Positioning speed (max.)	7 000 mm/s
Layer thickness	20–100 μm
Laser beam diameter	Diameter 70 μm on the surface of the powder
Laser power	200 or 400 W
Outer dimensions **	1700 x 800 x 2025 mm (D, Š, V)
Mass	gross 1225 kg, netto 1100 kg
Power supply	230 V, single-phase, 16 A
Available materials	Stainless steel 316L a 17-4PH, tool steel H13, aluminium Al-Si-12, titan CP, Ti-6Al-4V a Ti-6Al-7Nb, cobalt-chrome alloy (ASTM75), Inconel 718 a 625

* The speed of production of the part depends on the material, density and shape. The maximum speed of the production of part is not applicable to all materials.

** Dimensions without accessories.



Fig. 1. AM250 machine

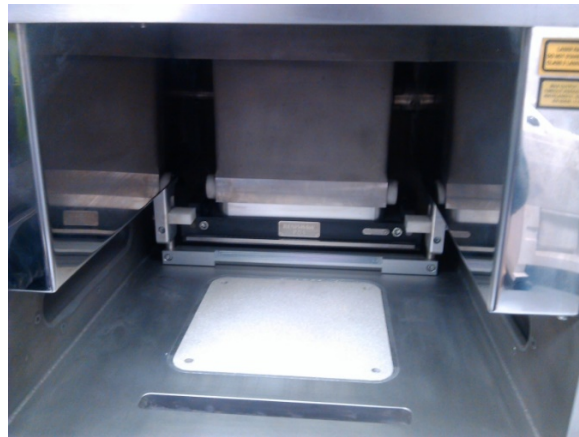


Fig. 2. Work zone of AM250

The evaluation of manufacturability of components using Rapid Prototyping method and Selective Laser Melting (SLM) technology

The main idea of the production process of the spare part was to use such a component, which will have specific characteristics. For instance, resistance against wear out and good mechanical properties. This component is usually not producible by conventional chip machining methods such as turning, milling etc.

Fig.3 shows a component that is not producible via chip machining methods because it contains a hole that has a square cross-section.

The second indicator was a bad accessibility of the component in the market, since the part comes from older version of an automobile. The ideal substitution part was a spare part for speedometer for an automobile VW LT 28 year 1997. Main dimensions of the component are 85 x 23 x 23 mm.

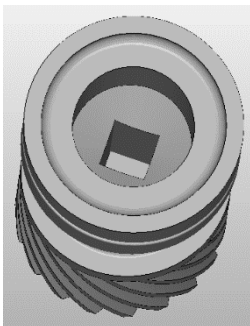


Fig. 3.



Fig. 4.

The original parts of this type are produced from a plastic material, most probably by casting, eventually by injection molding. The original part was worn out on the cogwheel section Fig. 4.

Phases of technological process of Rapid Prototyping method

Pre-processing

The working procedure of the production of part was a standard rapid prototyping process. During the first step it was necessary to construct component according to all dimensions of the original part. The model was constructed in a suitable CAD program. It is also possible to produce a reference digital model of the 3D scan of the damaged part, which can be repaired in the CAD program. Thus, a new useable and fully functional component is created.

After construction of a digital model was the component ready for production. There has been Renishaw Autofab v1.8 used for data processing. There were designed manufacturing layers, all parameters of the production as well as support structures, which prevent the deformation of the parts during the production process and ensure the connection of the parts with the base plate.



Fig. 5. Damaged part



Fig. 6. Reference model scan

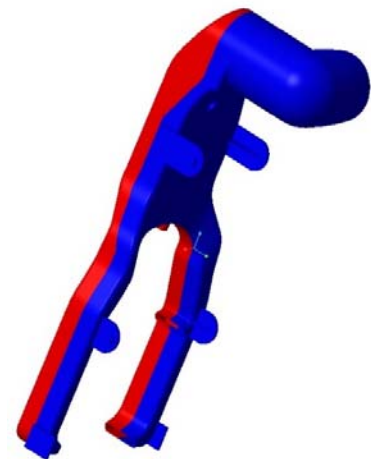


Fig. 7. Model constructed in CAD

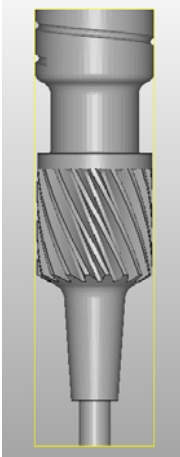


Fig. 8. STL file ready for processing

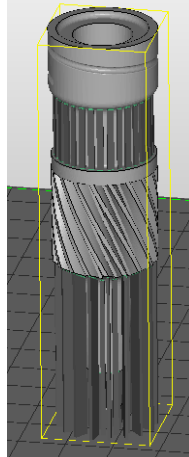


Fig. 9. The design of the supporting structures

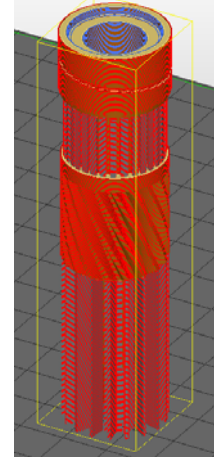


Fig. 10. Software cut-off of the model into layers

Parameters of the production were set into the following values on the AM250 machine:

- Thickness of the layer 25 μm
- Speed of the laser during the burning of the boundary contours 0,25 m/s
- Speed of laser during the burning of the filling structures of the component 0,57 m/s
- The power of laser 400W

The calculated parameters that were estimated for our specific model by the Autofab software:

3650 layers – 1 layer 0,025 mm (25 μm)– the height of model together with supporting structures 89 mm.
Time required for the 3D print of a single prototype 12h 50min, for mini-batch of 10 pieces 40h 30min.

Processing

Processing is the mere production of part using the machine AM250. The production procedure belongs to category of additive technologies. Here the material is gradually added. Each material layer is deposited on the top

of the part and afterwards it is sintered by high-performance laser. This method is called SLM – Selective laser melting.

Powdery aluminium material of the thickness of the grains 25 μm with a designation of AlSi10Mg-0403 has been used as a material for the manufacturing of the part. The chemical composition of the material is in the Table 2. Custom chemical analysis was carried out by manual digital spectrometer ED-XRF Delta.

This technology provides heat treatment of metal powder at a temperature lower than the melting point of the main constituent. The main goal of this technology is increasing of the strength of bonding of the individual particles. SLM is one of the additive production techniques that uses a high power laser (e.g. a carbon dioxide laser) for the fusion of small particles of the metal powder material. The capture and the movement of the laser is predefined according to the pattern, which is generated according to characteristic features of a 3D CAD designed part, or according to capture of digital image. After creating one layer of the powder bed moves in the direction of the Z-axis by the value of the thickness of one layer and the new layer of material is applied on top of the original layer and the process is repeated until the part is complete (Kopeliovich, 2006). The metal powder is progressively melted in the microscopic layers using a laser beam, which does not leave large porous structure. (Osakada, Shiomi, 2006, p.1188).

Table 2

AlSi10Mg-0403 characteristics

Chemical element	Data provided by producer / supplier Renishaw	Own chemical analysis – measurement 1,2,3			
	Percentual content in %	1	2	3	Arithmetic mean
Al	Balance	90,00	89,60	89,30	89,63
Si	9-10	9,60	9,90	10,00	9,83
Mg	0.25-0.45	0,70	1,00	0,93	0,88
Fe	<0.25	0,23	0,40	0,43	0,35
N	<0.20	-	-	-	-
O	<0.20	-	-	-	-
Ti	<0.15	-	-	-	-
Zn	<0.10	-	-	-	-
Mn	<0.10	-	-	-	-
Ni	<0.05	-	-	-	-
Cu	<0.05	-	-	-	-
Pb	<0.02	-	-	-	-
Sn	<0.02	0,10	0,10	0,10	0,10
Sb	-	0,10	0,13	0,13	0,12



Fig. 11. Without surface treatment



Fig. 12. Sandblasting finishing



Fig. 13. Polishing finish

Post-processing

The post-processing is based on the removal of the support material. Support consists of the material, which is appended to the building of the model, in order to build the overhanging parts of the model, cavities, and parts with complex shapes. It is important to note that post-processing is an integral part of the production of the prototype therefore it can significantly affect the final price and time of production of the prototype.

The basic steps of post-processing during the SLM are:

- Clean-up of the model from residual powder material. Tail powdery material can be used for further construction of the models.

- Removing the model from the base plate

- Removing the support structures from the produced parts

- Grinding, application of sanding or polishing of the produced parts.

The produced part had been blast cleaned, and polished, in order to remove the roughness, since the part without surface treatment have unsatisfactory roughness for this type of component.

Summary

The tested component is currently still in the car and it has fulfilled its function without damage since May 2015. Therefore, we can evaluate this test as a successful. Although the production is more expensive than conventional technologies, there is an advantage that such a component made of a material AL10SiMg has extended durability compared to the plastic original that has been produced by casting or injection moulding machinery. The production of the spare part is relatively quick, since the market does not provide spare parts for this type of car any longer. This production is also possible for repairs and recovery of automotive veterans. In the future, these technologies will not be used solely for prototyping of new parts, but also for smaller or larger series production of new parts.

References

1. RENISHAW PLC. 2015. Additive manufacturing – Laser melting. 2015, [cit. 2015-01-23]. URL: <http://www.renishaw.com/en/laser-melting-metal-3d-printing-systems--15240>.
2. KOPELIOVICH, D. 2006. Sintering of metals. 2006, [cit. 2014-12-19]. URL: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=sintering_of_metals.
3. OSAKADA, K. – SHIOMI, M. 2006. Flexible manufacturing of metallic products by selective laser melting of powder. In International Journal of Machine Tools & Manufacture. 46 (2006), p.1188-1193 [cit. 2015-01-10]. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695506000307#>.

Рецензія/Peer review : 8.2.2016 р. Надрукована/Printed :18.4.2016 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

ЗГИН КРУГОВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ЗІ ЗМІННОЮ ТОВЩИНОЮ

Отримано аналітичний розв'язок для неоднорідного диференціального рівняння четвертого порядку, що описує осесиметричну деформацію замкненої кругової циліндричної оболонки зі змінною товщиною стінок. Отримано формули для параметрів оболонки. Наявність даних формул дозволяє досліджувати напружено-деформований стан оболонки з різними граничними умовами. Виведено квадратури для чисельної реалізації знайдених аналітичних розв'язків. Досліджено напружено-деформований стан циліндричної оболонки у вигляді резервуару з товщиною, яка змінюється за лінійним законом, під дією осесиметричного гідростатичного тиску. Результати розрахунків авторським методом практично збігаються із відповідними результатами, виконаними в пакеті ANSYS. Для обох випадків побудовані графіки залежності переміщень та напружень від координати.

Ключові слова: циліндрична оболонка, метод прямого інтегрування, змінна товщина, чисельна реалізація, напруження, переміщення, ANSYS.

Y.S. KRUTII, N.G. SURYANINOV
Odessa State Academy of Construction and Architecture

BEND CLOSED CIRCULAR CYLINDRICAL SHELL WITH VARIABLE THICKNESS

The analytical solution for inhomogeneous differential equation of the fourth order, describing the axisymmetric deformation of a closed circular cylindrical shell with variable wall thickness. The formulas for the parameters of the shell. The presence of these formulas allows to investigate the mode of deformation shell with various boundary conditions. Displaying quadrature for numerical implementation of analytical solutions found. The stress-strain state of cylindrical shell in a tank with a thickness that varies linearly, axially symmetric under hydrostatic pressure. The results of calculations by the author practically coincide with the corresponding results performed in package ANSYS. Both cases are constructed plots of displacement and stress of coordinates.

Keywords: cylindrical shell, method of direct integration, variable thickness, numerical implementation, strain, displacement, ANSYS.

Вступ. Оболонкові конструкції широко застосовуються в сучасній техніці. Поєднуючи малу вагу з високою міцністю, оболонки є найпоширенішими конструктивними елементами. Тонкостінні елементи типу оболонок використовуються в машинобудівних конструкціях, у транспортних і хімічних машинобудуванні, у промислових і цивільних будівництві, в авіаційних, ракетних і суднових конструкціях. Серед усіх видів оболонок, використовуваних людиною, найбільший інтерес представляють циліндричні оболонки, у яких вдало сполучаються простота, компактність і висока технологічність. Кругові циліндричні оболонки входять елементами в конструкції літальних апаратів і двигунів, підводних і надводних засобів пересування, резервуарів і трубопроводів, склепінних систем підводних і підземних тунелів і сховищ.

До схеми осесиметричної циліндричної оболонки зводиться дуже багато інженерних конструкцій, у тому числі, казанів, баків, нафтопроводів, газопроводів, деталей машин і ін.

Аналіз досліджень та публікацій. Математичні основи розрахунків напружено-деформованого стану оболонок у статичі, що дозволяють обійтися без громіздкого апарата тривимірної теорії пружності, з'явилися на початку ХХ століття.

У період з 1920 по 1930 рр. розроблена теорія симетричної деформації оболонок – тіл обертання постійної й змінної товщини, що має велике прикладне значення у зв'язку з розрахунками тонкостінних куполів, резервуарів і їх днищ. Шляхом використання комплексної допоміжної функції, швейцарському вченому Мейсснеру [1] вдалося звести розв'язок цієї задачі до розв'язку диференціального рівняння другого порядку, що понизило вдвічі порядок рівнянь і явилось істотним кроком вперед. З'явилася можливість одержання як точних розв'язків зазначеного рівняння для ряду оболонок конкретної форми (конічної, сферичної, тороїдальної), так і для розробки наближених підходів до розрахунку оболонок обертання з довільною формою меридіана.

Однак робіт, у яких розглядаються оболонки змінної жорсткості, порівняно мало. Одним з перших такі оболонки досліджував Е.Ф. Бурмістров [2], який розв'язав задачу про симетричний згин ортотропної циліндричної оболонки, товщина якої по довжині змінюється за лінійним законом. Розв'язок знаходиться методом малого параметра з урахуванням другого наближення.

Слід відзначити книгу Я.М. Григоренко й Л.В. Мольченко [3], у якій значна увага приділена теорії круглих і прямокутних пластин і оболонок змінної товщини при нерівномірних навантаженнях і різних граничних умовах.

Цікавими представляються також роботи представників казахстанської школи А.Н. Тюреходжаєва та В.Б. Ристигулової [4]. Тут досліджений напружено-деформований стан циліндричної оболонки змінної й постійної товщини під дією розподіленого навантаження. Отримано аналітичні розв'язки задачі осесиметрично навантаженої циліндричної оболонки методом часткової дискретизації нелінійних диференціальних рівнянь. Цей же метод для розв'язку задачі про згин циліндричної оболонки змінної товщини успішно застосував Б.Ж. Кирикбаєв [5].

Однак аналітичні розв'язки задачі про згин циліндричної оболонки змінної жорсткості в літературі

практично відсутні.

Метою роботи є побудова аналітичного розв'язку задачі про згин циліндричної оболонки з товщиною, що змінюється за довільним законом.

Основний матеріал дослідження. Розглянемо згин замкненої кругової циліндричної оболонки змінної товщини під дією навантаження, розподіленого симетрично щодо поздовжньої осі циліндра (рис. 1). Деформація такої оболонки також буде симетричною. Відповідне диференціальне рівняння отримав С.П. Тимошенко [6]:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(D(x) \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + \frac{Eh(x)}{a^2} w = Z. \quad (1)$$

де $D(x) = \frac{Eh^3(x)}{12(1-\mu^2)}$ – змінна циліндрична жорсткість, a – радіус оболонки.

Таким чином, осесиметрична деформація кругової циліндричної оболонки змінної товщини описується лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням четвертого порядку зі змінними коефіцієнтами.

Побудуємо аналітичний розв'язок цього рівняння, застосовуючи метод прямого інтегрування [7–10].

Частинний розв'язок неоднорідного рівняння (1) можна отримати, скориставшись формулами, якими визначений частинний розв'язок аналогічного за виглядом диференціального рівняння вільних поперечних коливань [7].

Відповідне однорідне рівняння

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(D(x) \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + \frac{Eh(x)}{a^2} w = 0 \quad (2)$$

за своєю структурою співпадає з рівнянням вільних поперечних коливань стрижня зі змінною жорсткістю та змінною масою. Завдяки цьому, загальний розв'язок рівняння (2) можна отримати за відповідними формулами [7], вносячи там певні корективи.

Аналогом представлень [7] для поперечної жорсткості, погонної маси стрижня й поперечного навантаження тут будуть представлення для циліндричної жорсткості, товщини оболонки й тиску

$$D(x) = D_0 A(x), \quad h(x) = h_0 B(x), \quad Z(x) = Z_0 C(x), \quad (3)$$

де D_0, h_0, Z_0 – сталі величини, а саме циліндрична жорсткість, товщина й тиск у деякій характерній точці;

$A(x), B(x), C(x)$ – безрозмірні неперервні функції, що визначають закони змін своїх величин уздовж осі x .

Враховуючи при цьому, що циліндрична жорсткість виражається через товщину, знаходимо:

$$D_0 = \frac{Eh_0^3}{12(1-\mu^2)}; \quad A(x) = B^3(x).$$

Вносячи очевидні зміни у відповідну формулу [7], також одержимо $K^2 = -L^2$, де L – безрозмірний параметр,

$$L = \frac{l^2}{ah_0} \sqrt{12(1-\mu^2)}.$$

Для зручності запису, перезначимо: $\varphi(x) = \frac{dw}{dx}$; $M_x = M(x)$; $Q_x = Q(x)$.

Звернемо увагу, що для параметрів напружено-деформованого стану оболонки $w(x), \varphi(x), M(x), Q(x)$ справедливі формули, аналогічні формулам [7]. Саме тому тут можна скористатися не тільки формулою для переміщення, а й формулами для інших параметрів.

У підсумку будемо мати наступні формули:

$$w(x) = w(0)X_1(x) + \varphi(0)lX_2(x) - M(0)\frac{l^2}{D_0}X_3(x) - Q(0)\frac{l^3}{D_0}X_4(x) + Z_0\frac{l^4}{D_0}X_5(x); \quad (4)$$

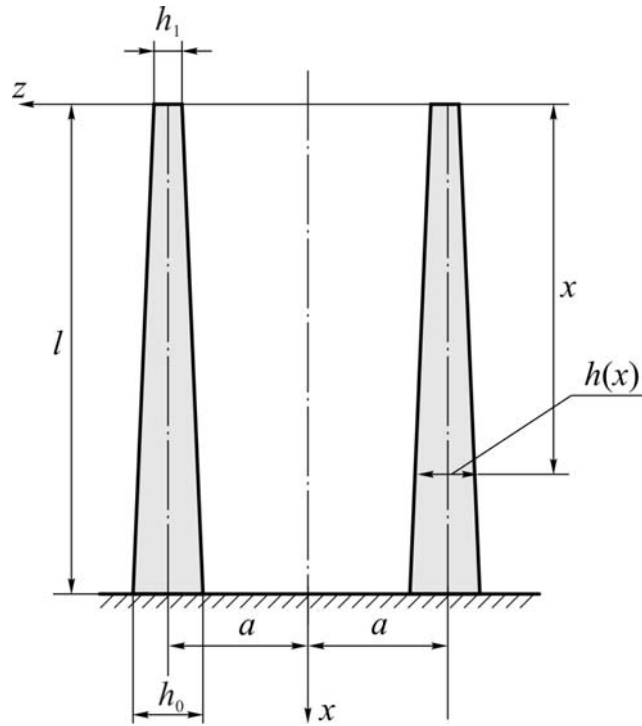


Рис. 1. Циліндричний резервуар зі змінною товщиною стінок

$$\varphi(x) = w(0)\frac{1}{l}\tilde{X}_1(x) + \varphi(0)\tilde{X}_2(x) - M(0)\frac{l}{D_0}\tilde{X}_3(x) - Q(0)\frac{l^2}{D_0}\tilde{X}_4(x) + Z_0\frac{l^3}{D_0}\tilde{X}_5(x); \quad (5)$$

$$M(x) = -w(0)\frac{D_0}{l^2}\hat{X}_1(x) - \varphi(0)\frac{D_0}{l}\hat{X}_2(x) + M(0)\hat{X}_3(x) + Q(0)l\hat{X}_4(x) - Z_0l^2\hat{X}_5(x); \quad (6)$$

$$Q(x) = -w(0)\frac{D_0}{l^3}\hat{X}_1(x) - \varphi(0)\frac{D_0}{l^2}\hat{X}_2(x) + M(0)\frac{1}{l}\hat{X}_3(x) + Q(0)\hat{X}_4(x) - Z_0l\hat{X}_5(x). \quad (7)$$

$$X_n(x) = \beta_{n,0}(x) - L^2\beta_{n,1}(x) + L^4\beta_{n,2}(x) - L^6\beta_{n,3}(x) + \dots \quad (n = 1, 2, 3, 4, 5);$$

$$\beta_{n,0}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^{n-1} \quad (n = 1, 2), \quad \beta_{n,0}(x) = \frac{1}{l^2} \int_0^x \int_0^x \frac{1}{B^3(x)} \left(\frac{x}{l}\right)^{n-3} dx dx \quad (n = 3, 4)$$

$$\beta_{5,0}(x) = \frac{1}{l^4} \int_0^x \int_0^x \frac{1}{B^3(x)} \int_0^x C(x) dx dx dx; \quad (8)$$

$$\beta_{n,k}(x) = \frac{1}{l^4} \int_0^x \int_0^x \frac{1}{B^3(x)} \int_0^x B(x) \beta_{n,k-1}(x) dx dx dx dx \quad (k = 1, 2, 3, \dots);$$

$$\beta_{n,k}(x) = \frac{1}{l^{4k}} \int_0^x \int_0^x \frac{1}{B^3(x)} \int_0^x B(x) \dots \int_0^x \frac{1}{B^3(x)} \int_0^x B(x) \beta_{n,0}(x) dx dx dx dx \dots dx dx dx dx;$$

$$\tilde{X}_n(x) = \tilde{\beta}_{n,0}(x) - L^2\tilde{\beta}_{n,1}(x) + L^4\tilde{\beta}_{n,2}(x) - L^6\tilde{\beta}_{n,3}(x) + \dots;$$

$$\hat{X}_n(x) = \hat{\beta}_{n,0}(x) - L^2\hat{\beta}_{n,1}(x) + L^4\hat{\beta}_{n,2}(x) - L^6\hat{\beta}_{n,3}(x) + \dots;$$

$$\hat{X}_n(x) = \hat{\beta}_{n,0}(x) - L^2\hat{\beta}_{n,1}(x) + L^4\hat{\beta}_{n,2}(x) - L^6\hat{\beta}_{n,3}(x) + \dots;$$

$$\tilde{\beta}_{n,k}(x) = l\beta'_{n,k}(x), \quad \hat{\beta}_{n,k}(x) = lA(x)\tilde{\beta}'_{n,k}(x), \quad \hat{\beta}_{n,k}(x) = l\hat{\beta}'_{n,k}(x) \quad (n = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (9)$$

Нагадаємо, що функції $X_n(x)$, $\tilde{X}_n(x)$, $\hat{X}_n(x)$, $\hat{X}_n(x)$ ($n = 1, 2, 3, 4, 5$), через які виражені розв'язки (4) – (7), є безрозмірними.

Тепер слід вказати також формули, які будуть необхідні для чисельної реалізації зазначених точних розв'язків (4) – (7). Дані формули засновані на апроксимації:

$$\frac{1}{B^3(x)} = A_0 + A_1\left(\frac{x}{l}\right) + A_2\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \dots + A_s\left(\frac{x}{l}\right)^s; \quad (10)$$

$$B(x) = B_0 + B_1\left(\frac{x}{l}\right) + B_2\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \dots + B_p\left(\frac{x}{l}\right)^p; \quad (11)$$

$$C(x) = C_0 + C_1\left(\frac{x}{l}\right) + C_2\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \dots + C_g\left(\frac{x}{l}\right)^g. \quad (12)$$

Квадратури для чотирьох початкових функцій $\beta_{n,0}(x)$, $\tilde{\beta}_{n,0}(x)$, $\hat{\beta}_{n,0}(x)$, $\hat{\beta}_{n,0}(x)$ ($n = 1, 2, 3, 4$) отримані в [7]. Квадратури для $\beta_{5,0}(x)$, $\tilde{\beta}_{5,0}(x)$, $\hat{\beta}_{5,0}(x)$, $\hat{\beta}_{5,0}(x)$ одержимо, скориставшись формулами (9) – (12). У результаті будемо мати:

$$\beta_{5,0}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^4 \sum_{j=0}^{s+g} \frac{F_j}{(j+3)(j+4)} \left(\frac{x}{l}\right)^j; \quad \tilde{\beta}_{5,0}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^3 \sum_{j=0}^{s+g} \frac{F_j}{j+3} \left(\frac{x}{l}\right)^j;$$

$$\hat{\beta}_{5,0}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^2 \sum_{j=0}^g \frac{C_j}{(j+1)(j+2)} \left(\frac{x}{l}\right)^j; \quad \hat{\beta}_{5,0}(x) = \frac{x}{l} \sum_{j=0}^g \frac{C_j}{j+1} \left(\frac{x}{l}\right)^j;$$

де

$$F_j = \sum_{v=0}^j \frac{C_v A_{j-v}}{(v+1)(v+2)},$$

причому $C_v = 0$, якщо $v > g$ та $A_{j-v} = 0$, якщо $j - v > s$.

Для твірних функцій справедливі представлення:

$$\beta_{n,k}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^{4k+n-1} \sum_{j=0}^{k(p+s)+\lambda_n-n+1} c_{k,j}^{(n)} \left(\frac{x}{l}\right)^j; \quad (13)$$

$$\tilde{\beta}_{n,k}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^{4k+n-2} \sum_{j=0}^{k(p+s)+\lambda_n-n+1} \frac{e_{k-1,j}^{(n)}}{4k+j+n-2} \left(\frac{x}{l}\right)^j; \quad (14)$$

$$\hat{\beta}_{n,k}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^{4k+n-3} \sum_{j=0}^{k(p+s)+\lambda_n-s-n+1} \frac{d_{k-1,j}^{(n)}}{(4k+j+n-4)(4k+j+n-3)} \left(\frac{x}{l}\right)^j; \quad (15)$$

$$\hat{\beta}_{n,k}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^{4k+n-4} \sum_{j=0}^{k(p+s)+\lambda_n-s-n+1} \frac{d_{k-1,j}^{(n)}}{4k+j+n-4} \left(\frac{x}{l}\right)^j, \quad (16)$$

де $\lambda_1 = 0, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = s + 2, \lambda_4 = s + 3, \lambda_5 = s + g + 4$.

Коефіцієнти многочленів (13) – (16) обчислюються за формулами:

$$c_{0,0}^{(n)} = 1 \quad (n = 1, 2); \quad c_{0,j}^{(n)} = \frac{A_j}{(j+n-2)(j+n-1)} \quad (n = 3, 4) \quad (j = 0, 1, 2, \dots, s);$$

$$c_{0,j}^{(5)} = \frac{F_j}{(j+3)(j+4)} \quad (j = 0, 1, 2, \dots, s+g);$$

$$c_{k,j}^{(n)} = \frac{e_{k-1,j}^{(n)}}{(4k+j+n-2)(4k+j+n-1)}$$

$$(k = 1, 2, 3, \dots) \quad (j = 0, 1, 2, \dots, k(p+s) + \lambda_n - n + 1)$$

$$e_{k-1,j}^{(n)} = \sum_{m=0}^j \frac{A_{j-m} d_{k-1,m}^{(n)}}{(4k+m+n-4)(4k+m+n-3)};$$

$$d_{k-1,j}^{(n)} = \sum_{r=0}^j B_{j-r} c_{k-1,r}^{(n)},$$

причому $A_{j-m} = 0$, якщо $j-m > s$ та $d_{k-1,m}^{(n)} = 0$, якщо $m > k(p+s) + \lambda_n - s - n + 1$; $B_{j-r} = 0$, якщо $j-r > p$ та $c_{k-1,r}^{(n)} = 0$, якщо $r > (k-1)(p+s) + \lambda_n - n + 1$.

Розглянемо циліндричну оболонку у вигляді резервуара зі змінною товщиною стінок (рис. 1) під дією осесиметричного гідростатичного тиску. Товщина стінок змінюється тут за лінійним законом від значення h_0 , на дні резервуара, до значення h_1 , на верхньому краї. У такому випадку для товщини стінки, на відстані x від дна резервуара одержимо

$$h(x) = h_0 \left(\alpha + (1-\alpha) \frac{x}{l} \right), \quad (17)$$

де $\alpha = \frac{h_1}{h_0}$ – числовий параметр, причому $0 \leq \alpha \leq 1$.

Врешті приходимо до висновку, що $B(x) = \alpha + (1-\alpha) \frac{x}{l}$.

Тиск рідини на внутрішні стінки оболонки виразиться рівністю $Z(x) = -\gamma x$, де γ – вага одиниці об'єму рідини. Тоді знаходимо: $Z_0 = -\gamma l$; $C(x) = \frac{x}{l}$, де Z_0 – тиск на дні резервуара.

Як видно, для даного прикладу функції $B(x)$ й $C(x)$ за умовою вже з самого спочатку є многочлени. Тому формули (11), (12) тут будуть точними, причому в них слід прирівняти:

$$p = 1; \quad B_0 = \alpha; \quad B_1 = 1 - \alpha; \quad g = 1; \quad C_0 = 0; \quad C_1 = 1.$$

Оскільки нижній край резервуара затиснений в абсолютно твердий фундамент, а верхній край вільний, то маємо наступні граничні умови:

$$M(0) = 0; \quad Q(0) = 0; \quad w(l) = 0; \quad \varphi(l) = 0.$$

Отже, два початкові параметри $M(0), Q(0)$ відомі. Для двох, що залишилися $w(0), \varphi(0)$ за допомогою (4), (5) одержуємо систему

$$\begin{cases} X_1(l)w(0) + lX_2(l)\varphi(0) = \gamma \frac{l^5}{D_0} X_3(l); \\ \frac{1}{l} \tilde{X}_1(l)w(0) + \tilde{X}_2(l)\varphi(0) = \gamma \frac{l^4}{D_0} \tilde{X}_5(x). \end{cases}$$

Звідси знаходимо: $w(0) = \gamma \frac{l^5}{D_0} S_1$; $\varphi(0) = \gamma \frac{l^4}{D_0} S_2$, де S_1, S_2 – безрозмірні константи,

$$S_1 = \frac{X_3(l)\tilde{X}_2(l) - \tilde{X}_5(l)X_2(l)}{X_1(l)\tilde{X}_2(l) - \tilde{X}_1(l)X_2(l)}, \quad S_2 = \frac{X_1(l)\tilde{X}_5(l) - \tilde{X}_1(l)X_5(l)}{X_1(l)\tilde{X}_2(l) - \tilde{X}_1(l)X_2(l)}.$$

У результаті, розрахункові формули для параметрів стану можна представити в остаточному вигляді:

$$w(x) = \gamma \frac{l^5}{D_0} (S_1 X_1(x) + S_2 X_2(x)) + w^*(x);$$

$$\varphi(x) = \gamma \frac{l^4}{D_0} (S_1 \tilde{X}_1(x) + S_2 \tilde{X}_2(x)) + \varphi^*(x);$$

$$M(x) = -\gamma l^3 (S_1 \hat{X}_1(x) + S_2 \hat{X}_2(x)) + M^*(x);$$

$$Q(x) = -\gamma l^2 (S_1 \hat{X}_1(x) + S_2 \hat{X}_2(x)) + Q^*(x).$$

де

$$w^*(x) = -\gamma \frac{l^5}{D_0} X_5(x); \quad \varphi^*(x) = -\gamma \frac{l^4}{D_0} \tilde{X}_5(x); \quad M^*(x) = \gamma l^3 \hat{X}_5(x); \quad Q^*(x) = \gamma l^2 \hat{X}_5(x). \quad (18)$$

Рівності (18) виражають прогин, нахил, згинальний момент і поперечну силу, що відповідають частинному розв'язку рівняння (1). Розв'язок $w^*(x)$ являє собою радіальне розширення оболонки з вільними краями під внутрішнім тиском [6].

Розглянемо розрахунки оболонки змінної товщини двома методами – на основі викладеного вище алгоритму й методом скінченних елементів у програмі ANSYS [11], при наступних вихідних даних:

Радіус оболонки $a = 17,1 м$; висота $l = 6 м$; товщина змінюється за лінійним законом (17), причому, $h_0 = 0,024 м$, $h_1 = 0,012 м$; матеріал – сталь із пружними характеристиками $E = 2 \cdot 10^8 кПа$; $\mu = 0,3$. Оболонка повністю заповнена рідиною з питомою вагою $\gamma = 6,867 кН/м^3$.

Результати розрахунків двома методами представлені в табл. 1.

Таблиця 1

x, м	Прогини, м			Напруження, МПа		
	Авторський метод	ANSYS	Похибка, %	Авторський метод	ANSYS	Похибка, %
0,0	0,0032	0,0033	3,03	29,24	29,03	0,72
0,6	0,0038	0,0039	2,56	39,88	40,06	0,45
1,2	0,0043	0,0045	4,44	47,86	48,14	0,58
1,8	0,0046	0,0048	4,17	56,28	56,68	0,71
2,4	0,0047	0,0049	4,08	62,11	62,17	0,08
3,0	0,0049	0,0050	2,00	69,00	68,89	0,16
3,6	0,0051	0,0052	1,92	72,61	72,37	0,33
4,2	0,0053	0,0053	0,00	76,54	76,11	0,56
4,8	0,0045	0,0044	2,22	79,11	78,83	0,35
5,4	0,0030	0,0031	3,22	80,65	80,62	0,04
6,0	0,0000	0,0000	0,00	73,88	73,65	0,31

На рис. 2 представлені графіки залежності прогинів від координати перерізу оболонки змінної товщини, побудовані на основі результатів, отриманих двома методами, а на рис. 3 – графіки залежності напружень від координати перерізу.

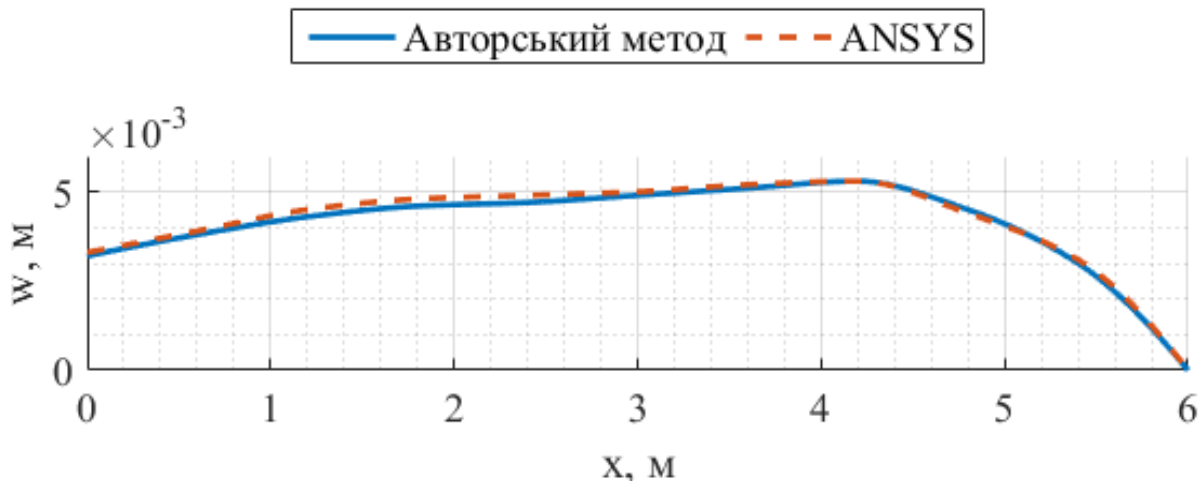


Рис. 2. Графіки зміни прогинів в оболонці змінної товщини

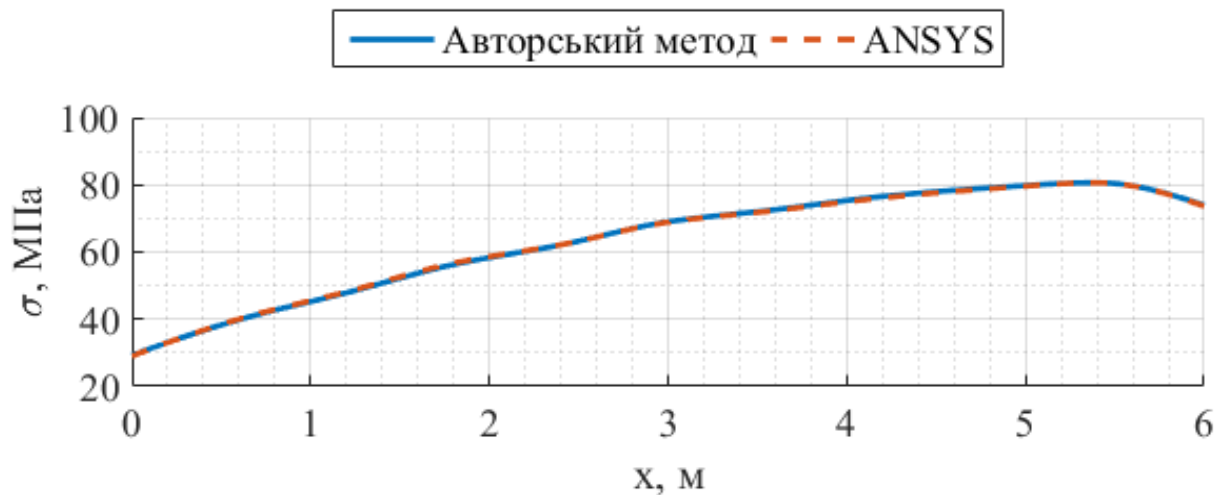


Рис. 3. Графіки зміни напружень в оболонці змінної товщини

Висновки. В ANSYS максимальний прогин $w = 0,0053$ м отриманий у перерізі з координатою $x = 4,2$ м, а максимальне напруження $\sigma = 80,62$ МПа – у перерізі з координатою $x = 5,4$ м. При розв'язку авторським методом відповідні значення в зазначених перерізах склали $w = 0,0053$ м й $\sigma = 80,65$ МПа.

Література

1. Meissner E. Das elasticitats problem fur dünne Schalen von Ringflächen / E. Meissner. – Kugel-oder Kegel form, Physikalische Zeitschr. – 1913. – 14. – P. 41 – 52.
2. Бурмистров Е. Ф. Изгиб цилиндрической ортотропной оболочки переменной толщины / Е. Ф. Бурмистров // Тр. конф. по теор. пластин и оболочек, Казанский гос. ун-т. – Казань, 1961. – С. 46 – 52.
3. Григоренко Я. М. Основи теорії пластин та оболонок з елементами магнітопружності : підручник / Я. М. Григоренко, Л. В. Мольченко. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2009. – 403 с.
4. Тюреходжаев А. Н. Исследование осесимметрично нагруженной цилиндрической оболочки [Электронный ресурс] / А. Н. Тюреходов, В. Б. Растигунова. – 2011. – Режим доступа : <http://www.rusnauka.com/6PNI2011/Tecnic/280217.doc.htm>.
5. Кырыкбаев Б. Ж. Изгиб цилиндрической оболочки переменной толщины / Б. Ж. Кырыкбаев // Актуальные проблемы механики и машиностроения : материалы IV Международной научной конференции, Алматы, 2014. – Т. I. – С. 330 – 337.
6. Тимошенко С. П. Пластины и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М. : Наука. 1966. – 636 с.
7. Крутий Ю. С. Собственные поперечные колебания консольного стержня с переменными, непрерывно распределенными параметрами / Ю. С. Крутий // Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – К. : ДП НДІБК, 2012. – Вип. 76. – С. 205–214.
8. Крутий Ю. С. Новый метод исследования поперечных колебаний стержня с переменными, непрерывно распределенными параметрами / Ю. С. Крутий // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – № 2. – С. 48 – 55.
9. Крутий Ю. С. Роль метода прямого интегрирования в современной механике / Ю. С. Крутий // Сучасні проблеми механіки та математики. – Львів : Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. – 2013. – Т. 1. – С. 146 – 148.
10. Крутий Ю. С. Точное решение дифференциального уравнения устойчивости равновесия упругого стержня с произвольной непрерывной переменной жесткостью / Ю. С. Крутий, Н. Г. Сурьянинов // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Сер. Технічні науки. – 2016. – № 1(94). – С. 72–84.
11. Дашенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов / под ред. Н. Г. Сурьянинова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. — Одесса : Пальмира, 2011. — 505 с.

Рецензія/Peer review : 21.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Параска Г.Б.

КІНЕМАТИЧНИЙ СИНТЕЗ ВАЖІЛЬНИХ НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ ЗА ЗАДАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРЯМОЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ШАТУННОЇ КРИВОЇ

В статті розглядається питання синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів на базі шарнірного чотириланкового механізму з використанням особливих точок шатунної площини – точок розпрямлення 5-го порядку. Такі механізми мають використання у різних галузях машинобудування. Наведено результати проведених досліджень у вигляді довідкових карт, що дозволяють проводити синтез таких механізмів за заданими параметрами прямолінійної ділянки, а саме: довжиною ділянки наближення та кутом її нахилу.

Ключові слова: важільні механізми, прямолінійно-напрямні механізми, кінематичний синтез, точки розпрямлення 5-го порядку, шатунна крива.

V.O. KHARZHEVSKYI
Khmelnitskyi National University**KINEMATIC SYNTHESIS OF LINKAGE PATH GENERATING MECHANISMS BY GIVEN PARAMETERS OF STRAIGHT LINE PART OF COUPLER CURVE**

The article is dedicated to the synthesis of straight-line linkage mechanisms by means of four-bar linkage using special points of coupler plane – 5th order straightening points that 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. Path generating mechanisms are widely used in different branches of modern machine building, and it is known that linkages have a number of advantages in comparison with the other types of mechanisms, for example non-full tooth gears or cam mechanisms. The results of carried researches in the form of reference diagrams are shown in the article. It helps to carry out the synthesis procedure of path generating linkage mechanisms by given parameters of straight line part of coupler curve: length of approximated part of coupler curve and slope angle of straight line.

Keywords: linkages, straight-line mechanisms, cinematic synthesis, 5th order straightening points, coupler curve.

В різних галузях сучасного машинобудування широко використовуються механізми, виконавчі органи яких здійснюють рух за певною траєкторією. Такі механізми називають напрямними. Одними з найбільш розповсюджених напрямних механізмів є кругові та прямолінійно-напрямні механізми, певні точки ланок яких рухаються за траєкторіями, що на певних своїх ділянках наближаються відповідно до дуги кола або прямої лінії. Для реалізації цієї задачі можуть використовуватись різні типи механізмів, зокрема важільні, які містять у своєму складі лише нижчі кінематичні пари, що, на відміну від інших механізмів, забезпечує більшу надійність, довговічність, менше зношування, а також більші робочі швидкості, що особливо важливо для сучасних машин-автоматів.

Наведемо деякі приклади таких механізмів [1–3]: механізми для голок високопродуктивних швейних машин; механізми для ведення інструменту при обробці деталей на стрічкових конвеєрах; механізми для компенсації помилок положення при автоматичному складанні; механізми підвісок; механізми для перетворення обертового руху в зворотньо-поступальний, наприклад, для приводів насосів та багато інших. Крім того, такі механізми можуть використовуватись як базові при проектуванні механізмів, що забезпечують періодичну зупинку вихідної ланки.

Як відомо, існує два напрямки у синтезі важільних напрямних механізмів:

1. Використання алгебраїчних методів найкращого наближення функцій за Чебишевим, що полягають у пошуку таких параметрів механізму, які би забезпечували наявність максимально можливої кількості вузлів інтерполяції між заданою та замінювальною функціями з найменшими відхиленнями з рівномірним характером їх зміни: в цьому напрямку слід відмітити, зокрема, роботи Кіницького [2], Саркісяна, Гассманна [5].

2. Використання методів кінематичної геометрії, започатковані німецьким вченим Бурместером, що знайшли подальший розвиток, зокрема, в роботах Ліхтенхельдта, Бейера, Геронімуса, Черкудінова [1], Іна, Хана [6], Ванга [7]. Основною особливістю цих методів є використання кратних вузлів інтерполяції шатунної площини, які можна використати за шатунні точки механізму: в цьому випадку в деякому околі від цих точок шатунні криві будуть мати ділянки наближено постійної кривизни, що дає можливість проектувати кругові та прямолінійно-напрямні механізми.

Таким чином, метою даної роботи є проведення синтезу та розробка довідкових карт щодо визначення геометричних параметрів важільних прямолінійно-напрямних механізмів відповідно до заданих параметрів прямолінійної ділянки, а саме за її довжиною та її кутом нахилу.

Розглянемо важільний прямолінійно-напрямний механізм, який можна одержати на базі шарнірного чотириланкового механізму, у склад якого входять лише обертові кінематичні пари. Так само, як і в роботі [3], будемо досліджувати такі механізми як на базі кривошипно-коромислового механізму (рис. 1, а), так і на основі двокривошипного (рис. 1, б).

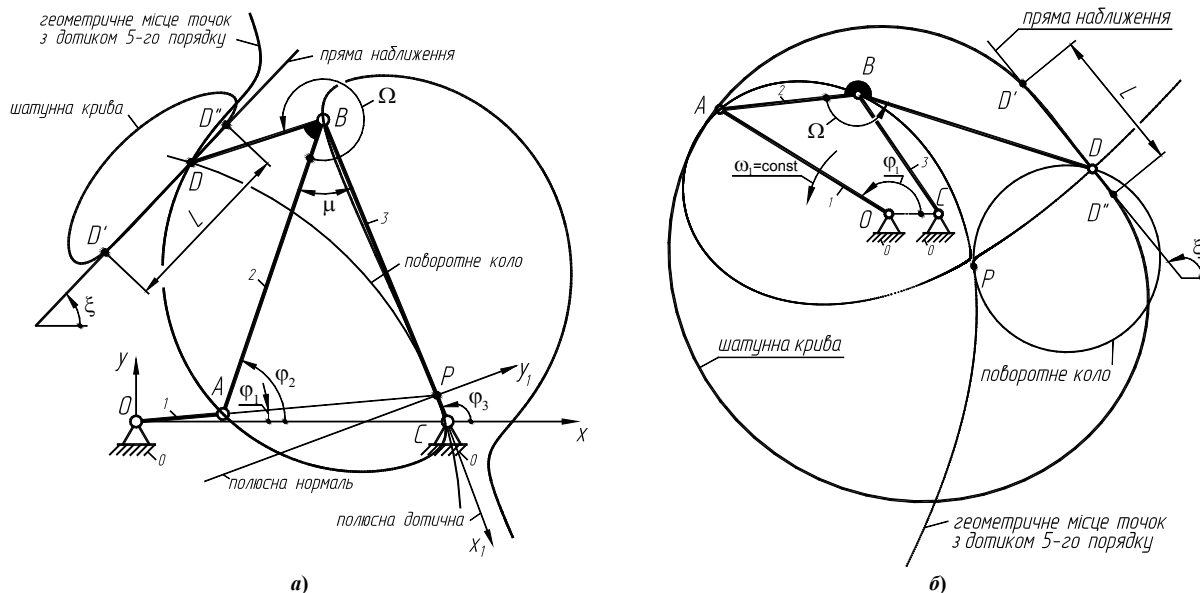


Рис. 1. Прямолінійно-напрямний шарнірний чотириланковий механізм а) кривошипно-коромисловий; б) двокривошипний

Механізм працює наступним чином: при неперервному обертальному русі вхідної ланки 1 (кривошипа), шатунна точка D викреслює певну криву, яка на деякій своїй ділянці D'D'' наближається до прямої лінії.

Як показано автором в роботі [4], для проектування прямолінійно-напрямних механізмів методами кінематичної геометрії можна використати, зокрема, точки розпрямлення 5-го порядку, що визначаються в загальному вигляді для будь-якого положення шатунної площини як точки перетину поворотного кола з кривою, що є геометричним місцем точок з дотиком 5-го порядку зі своїм колом кривизни. Відповідно до теоретичних основ синтезу таких механізмів, координати шатунної точки в системі координат x_1P_1 визначаються наступним чином [4]:

$$x_D = \frac{\omega^2 \left(x_0'' (y_0^V)^2 - x_0^V y_0^V y_0'' \right) + n_5 \left(x_0^V y_0''^2 - x_0'' y_0^V y_0^V \right)}{\omega^4 \left[(x_0^V)^2 + (y_0^V)^2 \right] + n_5^2 (x_0''^2 + y_0''^2) + 2\omega^2 n_5 (x_0'' x_0^V - y_0'' y_0^V)}, \tag{1}$$

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

де $n_5 = 5\omega\ddot{\omega} - 2\dot{\omega}(\ddot{\omega} - \omega^3)$; $\omega, \dot{\omega}, \ddot{\omega}, \ddot{\omega}$ – кутова частота обертання шатунної площини та відповідні похідні за часом $x_0'', y_0'', x_0^V, y_0^V$ – відповідно прискорення та похідні 5-го порядку від переміщень полюса P миттєвого обертання шатунної площини. В процесі синтезу початковими даними є довжини ланок механізму, а саме: кривошипа $r = l_{OA}$, шатуна $b = l_{AB}$, коромисла $c = l_{BC}$, а також кут повороту кривошипа ϕ_1 , що задає положення шатунної площини, для якого буде визначатись особлива точка – точка розпрямлення 5-го порядку.

Використовуючи методику синтезу, наведену в роботі [4], можна визначити положення шатунної точки, яке задається довжиною другого плеча шатуна $k = l_{BD}$ та кутом його злому Ω .

Отже, задача полягає у визначенні такого положення шатунної площини, що визначається кутом повороту кривошипа ϕ_1 , для якого визначена шатунна точка (точка розпрямлення 5-го порядку) забезпечить проектування прямолінійно-напрямного механізму, для якого довжина прямолінійної ділянки та кут її нахилу були б наперед заданими. Для визначення величини ділянки наближення в проєктованих механізмах був використаний розроблений автором числовий метод з використанням безрозмірного коефіцієнта граничної швидкості вихідної ланки [3].

Як відомо, довжину шатунної кривої як функції, що задана параметрично (за параметр прийнято кут повороту кривошипа ϕ_1), можна розрахувати таким чином [3]:

$$L_k = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{(x'_D)^2 + (y'_D)^2} d\varphi_1, \quad (3)$$

У рівнянні (3) величини $x'_D = dx_D/d\varphi_1$, $y'_D = dy_D/d\varphi_1$ – аналоги швидкостей шатунної точки D , спроектовані на осі координат, причому оскільки рух вхідного кривошипа є рівномірним, похідну можна брати не за часом, а за кутом φ_1 ; α, β – відповідні кути повороту кривошипа. Якщо за ці кути прийняти значення кутів φ_1 , що визначають початок та кінець ділянки наближення, то за формулою (3) можна розрахувати довжину прямолінійної ділянки шатунної кривої. Якщо замість α та β підставити відповідно значення 0 та 2π , можна розрахувати повну довжину шатунної кривої механізму.

В результаті проведених розрахунків отримано результати у вигляді довідкових діаграм. На рис. 2 показано приклад діаграми зміни довжини прямолінійної ділянки L_n шатунної кривої, яка може бути використана для синтезу кривошипно-коромислових механізмів за заданою її величиною. Послідовність синтезу механізму в такому випадку є наступною: знаходиться кут повороту кривошипа φ_1 , що визначає положення шатунної площини та точки розпрямлення 5-го порядку у ній. Далі, відповідно до отриманого значення кута φ_1 , використовуючи методику синтезу, наведену автором у [4], можна обчислити довжину другого плеча шатуна k та кут його злому Ω , що і визначають форму шатунної кривої точки D механізму.

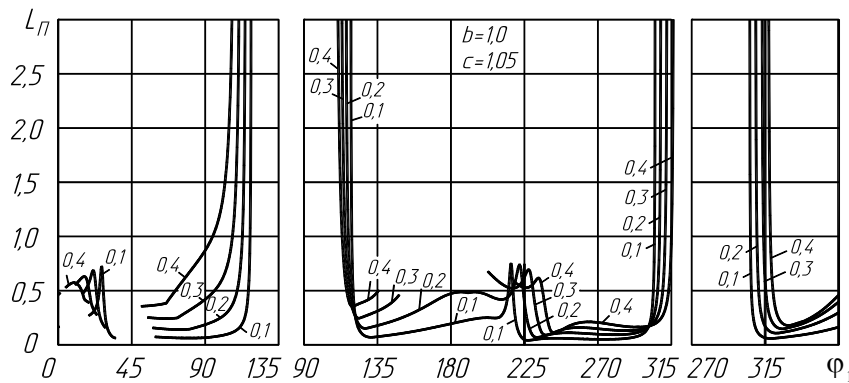


Рис. 2. Зміна довжини прямолінійної ділянки шатунної кривої кривошипно-коромислових механізмів

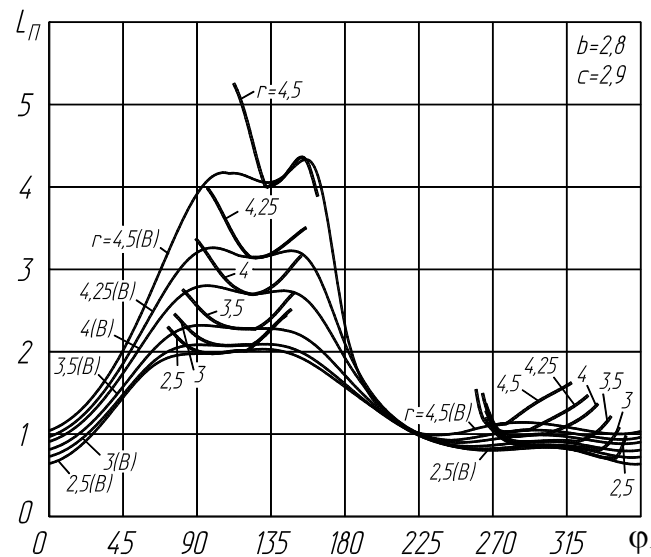


Рис. 3. Зміна довжини прямолінійної ділянки шатунної кривої двокривошипних механізмів (для порівняння показані криві для механізмів точок Болла, з літерою «В» у дужках)

На рис. 3 показано приклад діаграми зміни довжини прямолінійної ділянки шатунної кривої для базових двокривошипних механізмів. В даній роботі проводиться дослідження механізмів, що синтезовані з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, для порівняння на діаграмі показані також відповідні залежності для механізмів, що синтезовані за використанням точок Болла, які досліджувались у [3]. Як видно, при однакових початкових параметрах базового механізму, точки розпрямлення 5-го порядку забезпечують більші величини прямолінійних ділянок.

При проектуванні важільних прямолінійно-напрямних механізмів важливою характеристикою

механізму для конструктора є також кут нахилу прямолінійної ділянки, який можна знайти аналітично методами кінематичної геометрії, оскільки дотична до шатунної кривої в точці розпрямлення 5-го порядку проходить через полюс повороту шатунної площини (так само, як і у випадках проектування механізмів з використанням точок Болла та точок розпрямлення 4-го порядку). Відповідна методика визначення кута нахилу прямолінійної ділянки ξ наведена у [3]. На рис. 4 показано приклад отриманої діаграми зміни кута ξ , яка може бути використана для синтезу механізмів за наперед заданим значенням цього параметра.

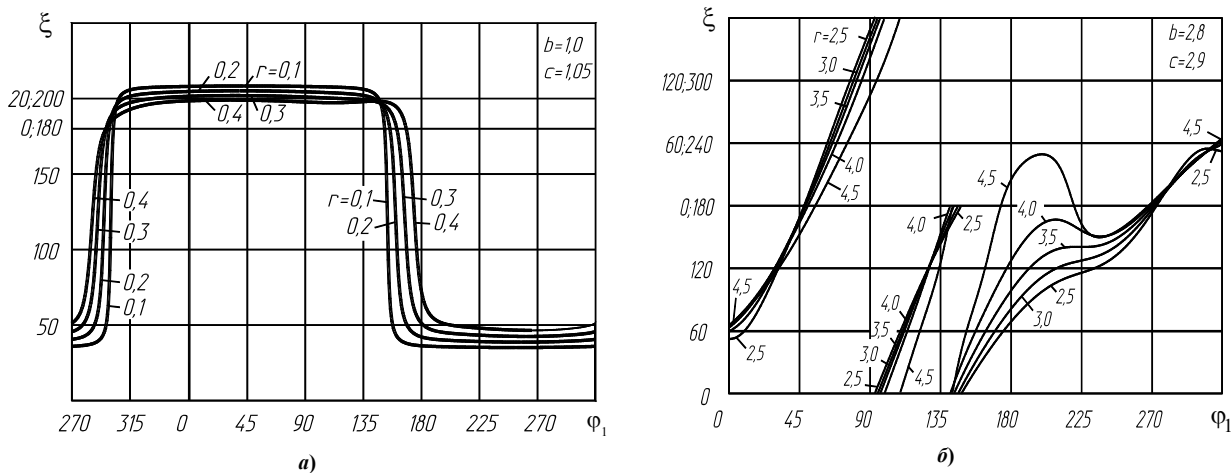


Рис. 4. Діаграма зміни кута нахилу прямолінійної ділянки шатунної кривої а) кривошипно-коромислові механізми; б) двокривошипні механізми

Як вже зазначено, точки розпрямлення 5-го порядку можуть бути знайдені для будь-якого положення шатунної площини механізму. Отже, для заданих параметрів шарнірного чотириланкового механізму (кривошипа r , шатуна b та коромисла c) можна отримати механізми з різними формами шатунних кривих та різними величинами їх прямолінійних ділянок. Однією з характеристик шатунної кривої є відношення довжини прямолінійної ділянки L_n шатунної кривої до загальної її довжини L_k : знайдена таким чином величина може бути виражена у процентах та певним чином характеризує форму шатунної кривої. Приклад відповідної діаграми для кривошипно-коромислових механізмів показано на рис. 5.

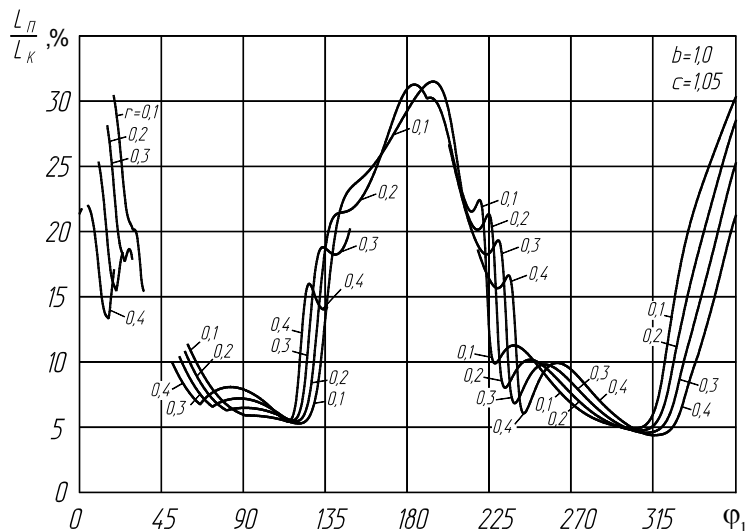


Рис. 5. Діаграма зміни відношення довжини прямолінійної ділянки шатунної кривої до її загальної довжини, для кривошипно-коромислових механізмів

Відомо, що на базі напрямних механізмів можна проектувати механізми з періодичною зупинкою вихідної ланки [1-3]. Якщо в процесі проектування машини необхідно забезпечити регулювання тривалості зупинки вихідної ланки у широких межах, наприклад шляхом створення нерівномірності в обертанні кривошипа l , як це зроблено, наприклад, в роботі [3], для цього в процесі проведення синтезу бажано вибирати механізми, у яких величина L_n/L_k є якомога більшою. На рис. 6 показано діаграму зміни цього параметру для двокривошипних механізмів, з якої видно, що точки розпрямлення 5-го порядку забезпечують проектування прямолінійно-напрямних механізмів із тривалішими ділянками наближення, порівняно з механізмами, що синтезовані на основі точок Болла.

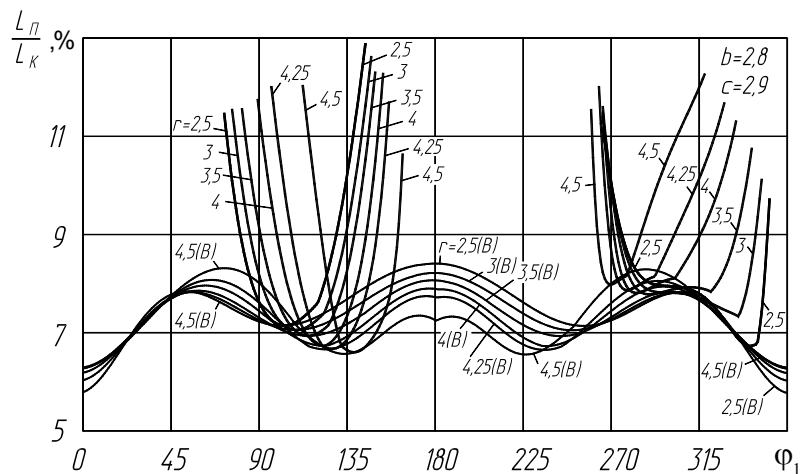


Рис. 6. Діаграма зміни відношення довжини прямолінійної ділянки шатунної кривої до її загальної довжини, для двокривошипних механізмів (для порівняння показані криві для механізмів точок Болла, з літерою «В» у дужках)

Таким чином, проведені дослідження та одержані результати, які дозволяють проводити синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів на базі шарнірного чотириланкового механізму за заданими параметрами прямолінійної ділянки, а саме її довжиною та кутом нахилу, що є важливими вимогами конструктора при проектуванні таких механізмів. Крім того, проведено розрахунок відношення довжини прямолінійної ділянки шатунної кривої проєктованих механізмів до загальної її довжини та встановлено, що у механізмах, синтезованих з використанням точок розпрямлення 5-го порядку ця величина може сягати більше 30%. Це дозволяє у широких межах проводити регулювання тривалості зупинки вихідної ланки у механізмах із зупинкою вихідної ланки, що побудовані на основі прямолінійно-напрямних механізмів. Для отримання більш точних значень параметрів синтезу, доцільно використовувати розроблене програмне забезпечення. Дослідження планується продовжити в напрямку проведення оптимізаційного синтезу таких механізмів.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский., С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
3. Харжевський В.О. Синтез важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки методами кінематичної геометрії : монографія / В.О. Харжевський. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2015. – 223 с.
4. Харжевський В.О. Метод синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 5 (229). – С. 62–67.
5. Gassmann V. Synthese von Geradföhrungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.
6. 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.
7. 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 : 18.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

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

УДК 004.9

Н.Г. ШИРМОВСЬКА, І.Р. МИХАЙЛЮК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, Т.О. ВАВРИК, Н.Т. ЛАЗАРІВ
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ТА АЛГОРИТМ ДІАГНОСТУВАННЯ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ

У статті пропонується розробка алгоритму діагностування, а також дається оцінка стану газоперекачувального агрегату за параметрами вібрації за допомогою експертної системи. Також розглянуті правила побудови експертних систем зі змінними величинами. Визначення технічного стану агрегату за вібраційними параметрами виробляється як відповідно до змісту відповідної інформації в момент часу, так і на основі аналізу зміни її в часі.

Ключові слова: діагностичні параметри, вібрація, сигнатурний аналіз, частота, експертна оцінка.

N.G. SHYRMOVSKA, G.I. LEVYTSKA, I.R. MUHAJLUK, T.A. VAVRYK, N.T. LAZARIV
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

METHODS OF DIAGNOSTIC OF GAS PUMPING RIG DEFECTS AND ALGORITHM OF DIAGNOSTIC BASED ON EXPERT SYSTEM

The article proposes the development for the algorithm of diagnostics, it also assesses the state of gas pumping rig according to the vibration parameters with the help of expert system. The rules for building the expert systems with variable values are also considered. Determination of the rig technical state by vibration parameters is made to the content of the relevant information in time and also based on the analysis of changes over the time.

Keywords: diagnostic parameters, vibration, signature analysis, frequency, expert evaluation.

Вступ

Надійність роботи газоперекачувального агрегату (ГПА) залежить від ряду факторів, в тому числі і від вібрації, яка згубно відбивається на його технічному стані. При вібрації окремі деталі та вузли піддаються впливу знакозмінних навантажень. Це приводить до підвищеної напруженості, в результаті чого знижується міцність деталей і в кінцевому випадку може наступити руйнування.

Таким чином забезпечення якісного контролю вібраційного стану ГПА за допомогою експертної системи дає можливість зменшити витрати на проведення технічних оглядів, та планово-попереджувальних ремонтів, збільшити строки експлуатації технологічного обладнання, а також за рахунок своєчасної сигналізації про наявність дефектів, зменшити руйнування та фізичний знос механізмів.

Методика діагностування дефектів

Визначення технічного стану агрегату по вібраційних параметрах виробляється як по змісту відповідної інформації в момент часу, так і на основі аналізу зміни її в часі.

Як діагностичні параметри використовуються різноманітні параметри вібрації (у тому числі і спектри вібрації) [1,2], параметри випадкового процесу зміни вібрації, спеціальні функції параметрів вібрації (наприклад, напівсума і напіврізниця оборотної вібрації в двох обраних кряпках, відношення деяких параметрів вібрації в різних напрямках). У ряді випадків необхідно вимірювати і враховувати невібраційні параметри, що впливають на вібрацію.

Кількісні і якісні характеристики значень діагностичних параметрів і їх змін, що характерні для деякого дефекту, є ознаками цього дефекту [3, 4]. У дефекту може бути кілька ознак, а деяка ознака може бути загальним для групи різних по природі дефектів. Наприклад, наявність у спектрі вібрації деяких низькочастотних гармонік може бути ознакою і зачіпання ротора за статорні елементи, і субгармонійних коливань під дією дисбалансу, і недосконалості форми розточки підшипника ковзання. У сукупності ознак дефекту може не виявитися жодного, котрий сам по собі був би необхідним і (або) достатнім для діагностування.

У принципі можливо експериментальними і математичними методами одержати кількісні оцінки впливу будь-якого дефекту на діагностичні параметри для будь-яких умов, хоча це, як правило, зв'язано з великими труднощами і витратами. Однак така робота знецінюється тією обставиною, що невлітими відмінності динамічних характеристик агрегату роблять на ці оцінки вирішальний вплив. Різні експерти оцінюють максимально можливі відмінності значень впливу заданих дефектів на вібраційні параметри однотипних машин у межах від 10 до 1000 разів. Найбільші відмінності відносяться до високочастотних складових спектра вібрації.

При всіх описаних складностях всебічний облік експериментальних даних, математичних і експериментальних оцінок роблять задачу вібродіагностики в більшості випадків розв'язною.

Для підвищення вірогідності діагнозу з урахуванням приведених розумінь доцільно: повне використання усіх відомих ознак дефектів, імовірністю яких не можна зневажити за результатами аналізу діагностичних параметрів, що спостерігаються.

Стан агрегату визначається як нормальний при одночасному виконанні наступних умов:

- інтенсивність вібрації в контрольованих точках відповідає стандартним нормам;

- діагностичні параметри знаходяться в межах, що відповідають заданому режиму роботи агрегату;
- на стаціонарному режимі спостерігається стаціонарна вібрація: параметри її мінливості не виходять за межі, характерні для заданого режиму;
- відсутні істотні раптові зміни вібрації;
- відсутній істотний монотонний ріст вібрації в часі (тренд);
- відсутня істотна низькочастотна вібрація;
- відсутні істотні зміни спектрального складу вібрації.

Кількісні оцінки (еталони якості) для визначення виконання цих умов визначаються нормативними документами, результатами статистичної обробки даних вібровимірювань (архівних) і експертними оцінками.

Приведена технологія визначення нормального стану, власне кажучи, є процедурою, що у технічній діагностиці називається сигнатурним аналізом. Сигнатура – стандартний набір значень контрольованих параметрів вібрації, включаючи параметри спектра вібрації, що відповідає нормальному стану агрегату. Сигнатура визначається статистичними методами на основі вібровимірювань при різних режимах протягом достатнього часу адаптації системи вібродіагностики. Для кожного характерного режиму агрегату може бути визначена відповідна сигнатура. Істотні, статистично достовірні зміни сигнатури – свідчення появи ненормальності.

Для кожного епізоду, при якому порушуються критерії нормального стану агрегату (рис. 1), у зв'язку з необхідністю діагностування виникає задача вибору діагностичних параметрів з доступної безлічі даних. Насамперед, варто вибрати точки, у яких параметри вібрації не відповідають еталонам якості.

Для цих точок виділяються ті гармонійні складові, котрі вносять найбільший вклад у порушення еталона якості. Параметри цих складових і їхні функції є основними діагностичними параметрами, по яких визначають групу можливих причин вібрації. Інші параметри використовуються для уточнення діагнозу.

Розділимо спектр вібрації на чотири зони: *оборотна вібрація*, *низькочастотна вібрація*, *подвійна оборотна вібрація* і *високочастотна вібрація*.

Оборотна і подвійна оборотна вібрації є синхронними: точно визначені їхні частоти (f_0 і $2f_0$) і можуть бути визначені фази.

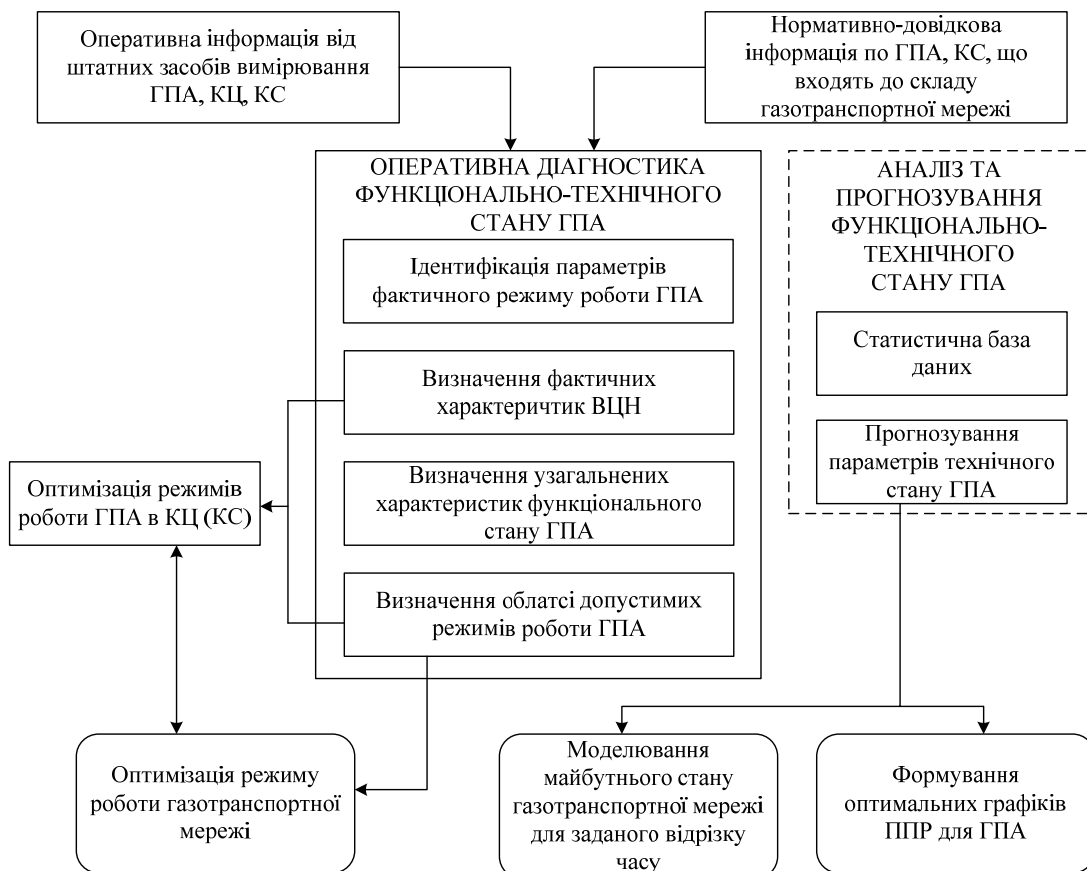


Рис. 1. Структурна схема модельно-програмного комплексу оперативної діагностики функціонально-технічного стану ГПА

Низькочастотна вібрація (НЧВ) частіше має половинну оборотну частоту ($f/2$), іноді частоту $f/3$, і є при цьому синхронною. Нерідко спостерігаються несинхронні (некратні) частоти НЧВ, що звичайно мають частоту власних коливань ротора.

Оцінка стану насосного агрегату за величиною віброшвидкості

Числове значення середньої квадратичної віброшвидкості, мм/с	Оцінка стану насосного агрегату
Не більше 2,8	відмінний
Понад 2,8 до 4,5	добрий
Понад 4,5 до 7,1	задовільний
Понад 7,1	недопустимий

Високочастотні складові звичайно мають багатий спектр.

Для великих енергетичних турбоагрегатів у першому наближенні важливо знати не дискретні складові високочастотного спектра, а загальний внесок високочастотних складових в інтенсивність вібрації. Для даного випадку діагностичним параметром є середньоквадратичне значення вібрації для всіх гармонік вище $2f_0$.

У якості діагностичних, крім параметрів спектра, використовуються інші параметри вібраційного процесу, що відповідають потребам конкретних діагностичних алгоритмів, що одержують шляхом спеціальної обчислювальної обробки вібраційних сигналів.

Додатково до описаних частот, ударна взаємодія між тілами і доріжками кочення підшипника збуджує коливання елементів машини й елементів підшипника на власних частотах. Кожен елемент при ударному впливі збуджується на своїй власній частоті. Ці дефекти впливають ударними імпульсами на різні частини підшипника, змушуючи їх вібрувати по власних формах коливань.

Прояв власних частот елементів підшипника (рис. 2) досить тісно зв'язаний з роторними частотами. Але на відміну від частот кратних частоті обертання, вібрація на власних частотах майже завжди породжується декількома різними елементами підшипника, що генерують кілька різних частот різної амплітуди. Амплітуда на власних частотах має тенденцію випадково змінюватись.

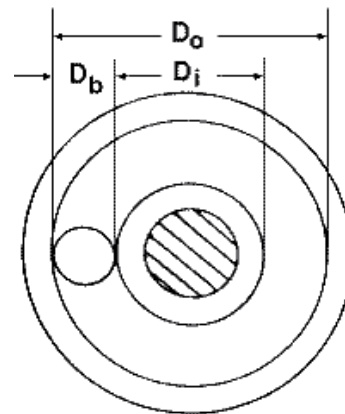


Рис. 2. Розрахунок частот кінематичного порушення, що генеруються підшипником

- Дефект сепаратора або кульки:

$$F_{cage} = [D_i / D_i + D_o] \times RPM \quad (1)$$

- Дефект кульки:

$$F_{ball} = [D_o / D_b \times D_i / (D_i + D_o)] \times RPM \quad (2)$$

- Дефект внутрішнього кільця:

$$F_{inner} = [D_o / (D_i + D_o)] \times M \times RPM \quad (3)$$

- Дефект зовнішнього кільця:

$$F_{outer} = [D_i / (D_o + D_i)] \times M \times RPM \quad (4)$$

де D_i – діаметр внутрішнього кільця;

D_o – діаметр зовнішнього кільця;

D_b – діаметр кульки;

M – число тіл кочення;

RPM – частота обертання вала;

F – частота прояву дефекту.

Одиночний дефект на внутрішнім або зовнішнім кільці підшипника генерує вібрацію на частоті перекошування тіла кочення (рис. 3). У процесі розвитку несправності розмір області ушкодження росте, вносячи свій внесок у розвиток нових дефектів. Отже, буде спостерігатися збільшення числа частот і ширини спектра. Ці частоти будуть модулюватися силами дисбалансу на частоті обертання вала або інших сил.

Наприклад, припустимо, що машина працює на частоті обертання 3 600 об/хв і обчислена кратність частоти перекошування кульки для дефекту на внутрішнім кільці дорівнює 25 292 циклів/хв. У спектрі виявляються обидві ці частоти, але, крім них, також будуть виявлятися сумарна ($3600 + 25292 = 28892$ циклів/хв.) і різницева частоти ($25292 - 3600 = 21692$ циклів/хв.).

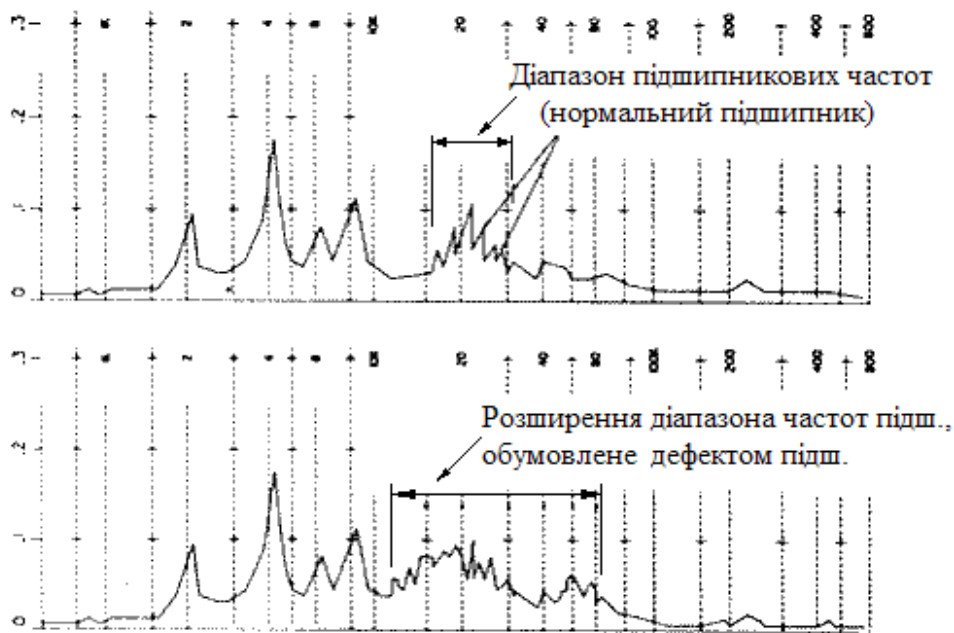


Рис. 3. Приклади прояву сумарних і різницевої частот

Коли uszkodження підшипника зв'язані з утомою, стиранням або іншими подібними ефектами, породжувані вібрації звичайно є випадковими і високочастотними. У спектрах таких вібрацій немає помітних максимумів і сам сигнал є неперіодичним, як у випадку дискретного крапкового викрашування доріжки кочення. Рівень випадкових вібрацій також міняється випадковим образом. Випадкові вібрації можуть бути як широкополосними, так і вузькополосними. Дослідження амплітудних і частотних характеристик випадкових вібрацій часто є корисним для розуміння її причин і серйозності дефектів.

Хоча зміна рівня випадкової вібрації в часі непередбачено, амплітуду цієї вібрації можна вимірити й оцінити (рис. 4). Чим більше амплітуда цієї вібрації, тим серйозніше дефект. Серйозність дефекту можна оцінити за допомогою вимірів енергії імпульсів (gSP), застосування якої розглянуто в наступному розділі.

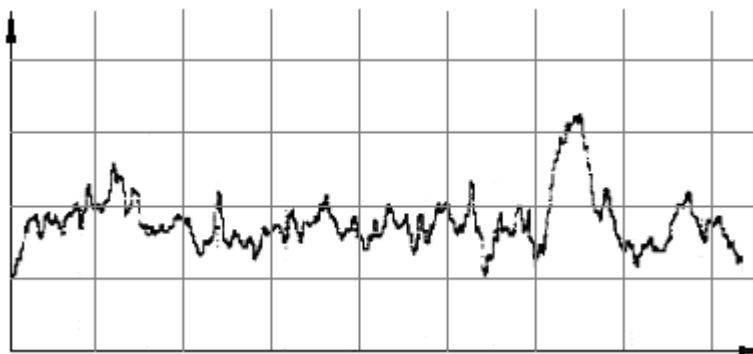


Рис. 4. Залежність амплітуди випадкової вібрації від часу

Проектування та реалізація експертної системи

При проектуванні та реалізації ЕС необхідно виділити сукупність знань, яка структурується для спрощення процесу прийняття рішення. В нашому випадку інформація приймає форму фактів або правил.

На рис. 5 показано, що в архітектуру динамічної ЕС в порівнянні із статичною ЕС вводяться компоненти: підсистема моделювання функціонування технічного об'єкта (ТО) в часі і підсистема зв'язку ТО із зовнішнім оточенням. Остання здійснює зв'язок із ТО через систему датчиків і контролерів. Крім того, традиційні компоненти статичної ЕС (база знань і машина виводу) зазнають істотні зміни, щоб відобразити тимчасову логіку подій, що відбуваються в реальному часі.

Результатами рішення є побудований діагноз і знайдена залежність діагностичної величини від ознак дефекту. Ціль аналізу полягає в тому, щоб обґрунтувати діагноз і прийняти рішення про спосіб його можливої корекції.

Відношення точок вимірювання – це одна із поіменованих таблиць. Ім'я таблиці (в даному випадку "Точка вимірювання") визначаються змістовним відношенням. Ступінь відношення дорівнює кількості стовпців таблиці.

Як ефективні засоби збереження фактів використовуються правила зі змінними величинами. Змінні в правилах заміняють певну сукупність фактів. Розглянемо наступні правила:

Якщо гармоніка1 ≥ 1.2 і гармоніка2 ≥ 0.54 , то – розцентровка валів компресора і

електродвигуна.



Рис. 5. Архітектура динамічної експертної системи

Якщо гармоніка1 ≥ 21.08 і гармоніка2 ≥ 0.498 , то – розцентровка валів редуктора і проміжного валу. Через використання змінних ці правила можна об'єднати в одне:

Якщо точка вимірювання має характеристику X і точка вимірювання має характеристику Y, то – дефект – Z.

Для правил із змінними будують реляційні таблиці, в яких містяться фактичні значення змінних.

Відомо [5, 6], що доступна експерту інформація про нафтогазові об'єкти і взаємозв'язки між ними в загальному випадку є суттєво невизначеною. Тим не менше експерт все-таки здатний робити певні логічні висновки на основі цієї інформації.

На рис. 6 показано, як в середовищі ESTA розробленої експертної системи можна вибрати контрольну точку вимірювання.

На рис. 7 показано, як в середовищі ESTA розробленої ЕС вводяться значення амплітуди вібрації гармонік по п'яти заданим підшипникам.

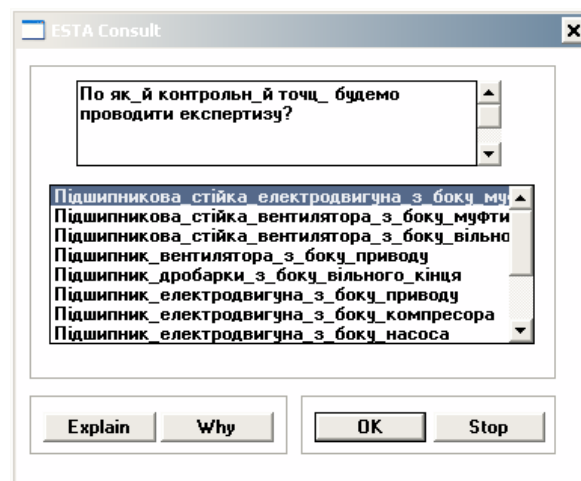


Рис. 6. Вибір контрольної точки вимірювання

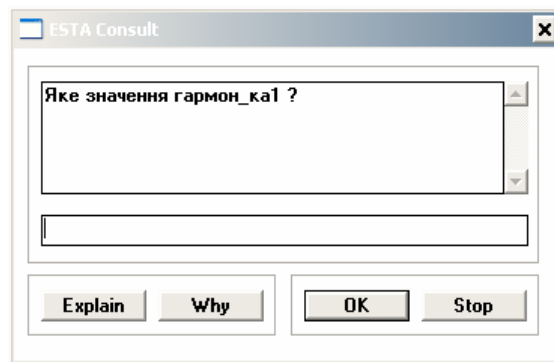


Рис. 7. Ввід значення гармоніки

На рис. 8 показана оцінка стану ГПА по заданим точкам вимірювання.

Точка вимірювання – підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти, значення амплітуди по гармоніках – 1.5, 0.58, 0.5, 0.23, 0.02.

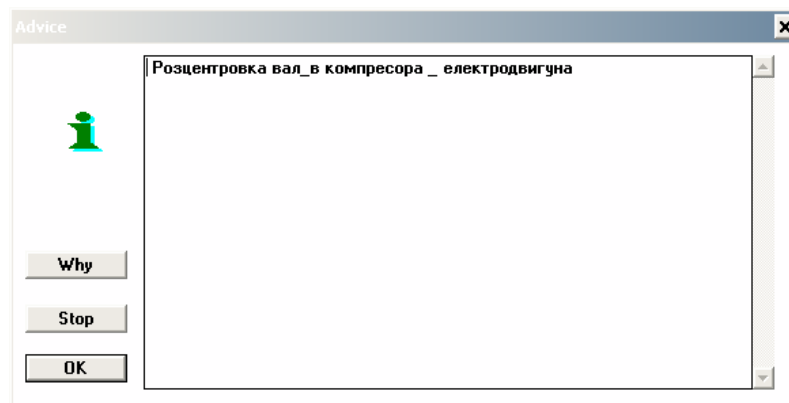


Рис. 8. Оцінка стану ГПА

Висновок

В даній роботі виконаний вибір середовища реалізації експертної системи – діагностування ГПА за параметрами вібрації. Виконано обґрунтування експертної оболонки ESTA. Використання вибраної методики діагностування дефектів з метою досягнення оптимальних умов визначення нормального стану агрегату дозволили зменшити кількість відмов та дефектів ГПА в окремих вузлах.

При розробці ЕС діагностування ГПА передбачена розробка загальної структури, виконана побудова бази знань та побудова внутрішніх правил. Проведена апробація стану ГПА за значеннями амплітуди в спектрі вузла ГПА. Розроблене програмне забезпечення показало свою працездатність в робочому діапазоні технологічних параметрів ГПА. Досліджені значення амплітуди в контрольних точках дозволили виявити ряд дефектів ГПА, що є важливим при експлуатації в нормальному робочому технологічному режимі. Експлуатація експертної системи дозволяє використовувати її в режимі порадики, шляхом виявлення дефекту чи визначення нормального режиму роботи ГПА.

Література

1. Заміховський Л.М. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем : навч. посібник / Л.М. Заміховський, В.П. Калявін. – Івано-Франківськ : Полум'я, 2004. – 360 с.
2. Заміховський Л.М. Проектування систем діагностування : навч. посібник / Л.М. Заміховський, В.П. Калявін. – Івано-Франківськ : Полум'я, 2004. – 248 с.
3. Локазюк В.М. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем : навч. посібник для вузів / В.М. Локазюк, О.В. Поморова, А.О. Домінов. – Хмельницьк, 2001. – 286 с.
4. Локазюк В.М. Контроль і діагностування обчислювальних пристроїв та систем : навч. посібник для вузів / В.М. Локазюк. – Хмельницький : ТУП, 2001. – 242 с.
5. Ширмовська Н.Г. Проектування та реалізація експертних систем для технологічних об'єктів нафтогазового комплексу / Н.Г. Ширмовська // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2009. – № 1(126). – С. 224–228.
6. Ширмовська Н.Г. Експертна система діагностування газоперекачувального агрегату за параметрами вібрації / Н.Г. Ширмовська, К.Г. Ширмовська // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2010. – № 1(144). – С. 114–118.

Рецензія/Peer review : 6.4.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Юрчишин В.М.

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ, УТВОРЕНИМ ШАТУНАМИ ТА ДВОМА СКЛАДНИМИ ЛАНКАМИ

Розглянуто структурне дослідження складних плоских механізмів четвертого класу зі ступенем вільності $W=1$, що базуються на основі різних можливих видів групи Ассура четвертого класу третього порядку з замкненим контуром утвореним шатунами та двома складними ланками, які ураховують кількість і характер кінематичних пар та їх місце розташування в групі Ассура. Структурний аналіз зроблено за допомогою способу умовної зміни ведучої ланки механізму, який дозволяє отримати формули будов кінематично-еквівалентних механізмів третього класу, що дозволяє зробити можливим виконання кінематичного аналізу механізмів четвертого класу та з'ясувати послідовність визначення кінематичних параметрів точок таких механізмів.

Ключові слова: група Ассура, механізм, структурна формула, ланка.

S.O. KOSHEL, A.V. KOSHEL

Kiev National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

STRUCTURAL ANALYSIS OF FLAT MECHANISMS FOURTH CLASS WITH CLOSED CIRCUIT FORMED BY CONNECTING RODS AND TWO COMPLEX LINKS

Abstract - Structural study of complex planar mechanisms fourth class with closed circuit formed by connecting rods and two complex links with degree of freedom $W = 1$, which are based on different possible types of Assur fourth class of third order, which take into account the number and nature of a cinematic pairs of Assur and their location in the group.

The basic types of groups Assur fourth class of third order, to which received six mobile links and nine kinematics pairs of rotational and translational nature, which differ from one another the number and location of cinematic pairs specific character. Make structural analysis mechanisms on the basis of identified species groups Assur fourth class of third order for one of the other possible option selected entry mechanism. Problem solved taking into account the structure of formula features a mechanism to change the appearance depending on the chosen arbitrarily other leading link and using the basic mechanisms of the theory of the structure of the course the theory of mechanisms and machines.

Formulas of structures mechanisms fourth class for the various possible types of Assur fourth class of third order. The structure formulas of structures mechanisms of Assur come only third class, which allows you to set a sequence of mechanisms study fourth class, which greatly simplifies problem solving cinematic analysis of mechanisms.

Keywords: group Assur, mechanism, structural formula, link.

Вступ

Сучасні умови ринкових відносин вимагають від виробників обладнання легкої промисловості конкурентоспроможної продукції. Одним з основних параметрів, що впливає на продуктивність машин є швидкість (частота обертання) головного валу машини. В зв'язку з цим при проектуванні механізмів і машин важливу роль приділяють кінематичним та пов'язаними з ним силовими дослідженнями.

Механізми сучасного технологічного обладнання легкої промисловості відносяться до складних швидкісних механізмів, в яких використовуються структурні групи вищих класів. Це обумовлено складністю технологічного процесу утворення виробів в робочій зоні машини, для забезпечення якого необхідні специфічні складні рухи робочих органів машини, що в свою чергу вимагає від інженерів для проектування кінематичних схем механізмів таких машин використання структурних груп ланок вищих класів.

Постановка завдання

Виконати структурне дослідження механізмів четвертого класу з замкненим контуром утвореним шатунами та двома складними ланками на основі різних можливих видів груп Ассура четвертого класу третього порядку з урахуванням властивості механізмів змінювати клас в залежності від обраної вхідної ланки.

Аналіз досліджень та публікацій

В машинах легкої промисловості широке розповсюдження мають механізми третього та вище класів за класифікацією Ассура [1]. На відмінність від механізмів другого класу, до складу яких надходять групи Ассура такого ж класу п'яти різних видів, механізми четвертого класу з замкненим контуром утвореним шатунами та двома складними ланками на базі групи Ассура 4-го класу 3-го порядку не мають певної класифікації їх видів. Така «невизначеність» призводить до складнощів, які пов'язані з наступними кінематичними та подальшими динамічними дослідженнями механізмів. Якщо урахувати те, що для різноманіття механізмів вищого класу не існує загальноприйнятого універсального способу кінематичного дослідження стає зрозумілим прагнення дослідників спростити такі дослідження за допомогою структурної заміни механізмів вищих класів кінематично-еквівалентними механізмами нижчих класів.

Таке стає можливим, якщо в механізмі вищого класу зі ступенем вільності $W=1$ умовно змінити ведучу (вхідну) ланку механізму [2]. Так для механізмів четвертого класу з замкненим контуром утвореним шатунами та двома складними ланками на базі групи Ассура 4-го класу 3-го порядку умовна зміна початкового механізму призводить до зменшення класу на одиницю. В формулах будов зазначених

механізмів присутні групи Ассура другого та третього класів, ступінь вільності та кінематичні параметри точок ланок механізму залишаються незмінними. Кінематичний аналіз груп Ассура третього класу є можливим з використанням спеціальних методів дослідження [1, 3, 4],

Формулювання цілей

Отримати формули будов механізмів четвертого класу для різних можливих видів групи Ассура четвертого класу третього порядку з замкненим контуром утвореним шатунами та двома складними ланками за умови обраного можливого іншого початкового механізму, що дозволяє спростити вирішення кінематичного аналізу таких механізмів.

Результати та їх обговорення

Розглянемо різні види груп Ассура четвертого класу третього порядку з замкненим контуром утвореним шатунами та двома складними ланками, що складаються з шести ланок (2–7) та дев'яти кінематичних пар $A_1 - A_9$ (пари A_1, A_8, A_9 – зовнішні, $A_2 - A_7$ – внутрішні) (рис. 1–5).

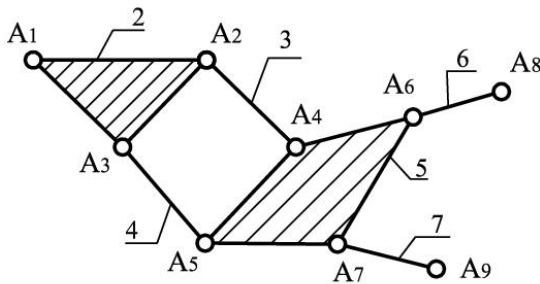


Рис. 1. Група Ассура 4-го класу 3-го порядку з дев'ятьма обертальними кінематичними парами

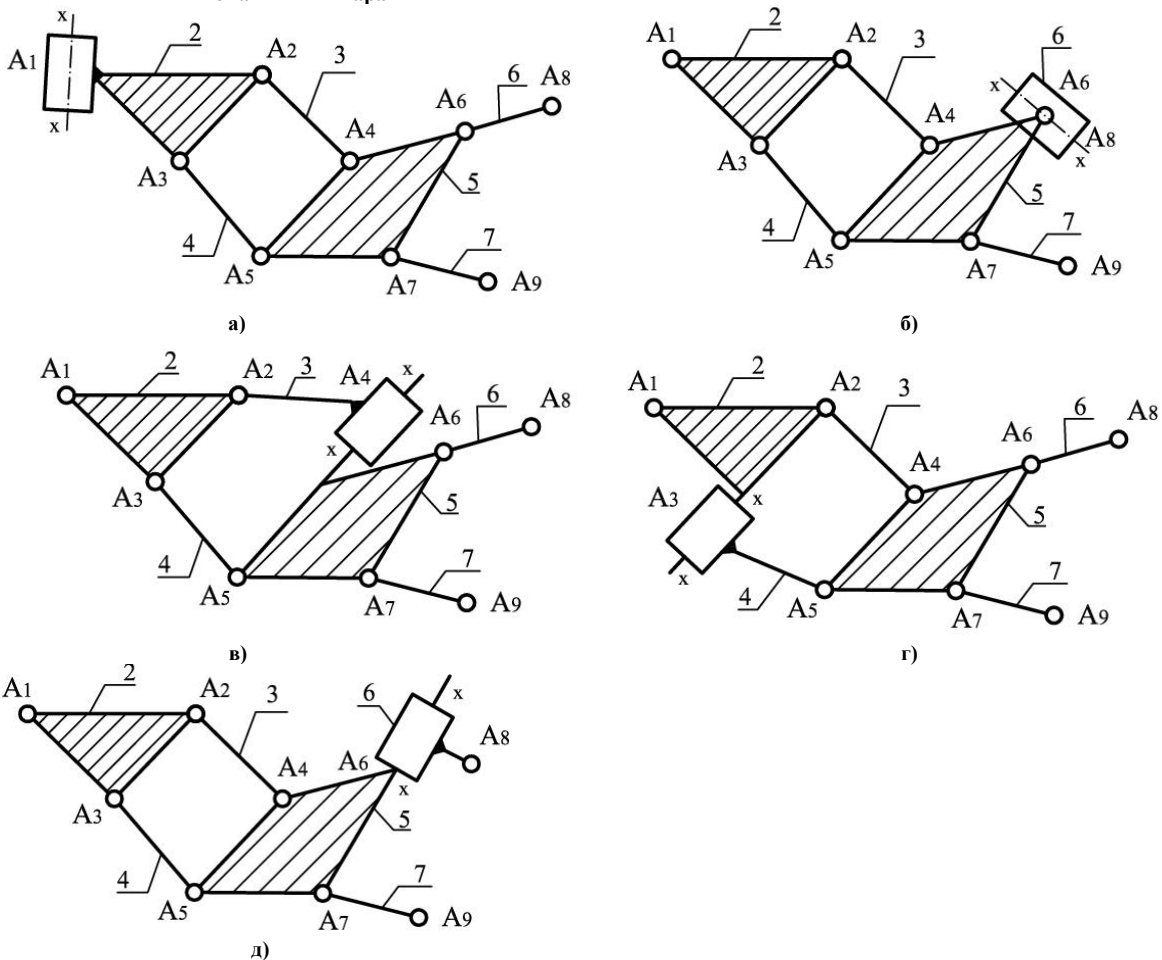


Рис. 2. Групи Ассура четвертого класу третього порядку з восьма обертальними та однією поступальною кінематичними парами: а, б – з зовнішньою поступальною парою; в, г, д – варіанти з внутрішньою поступальною парою

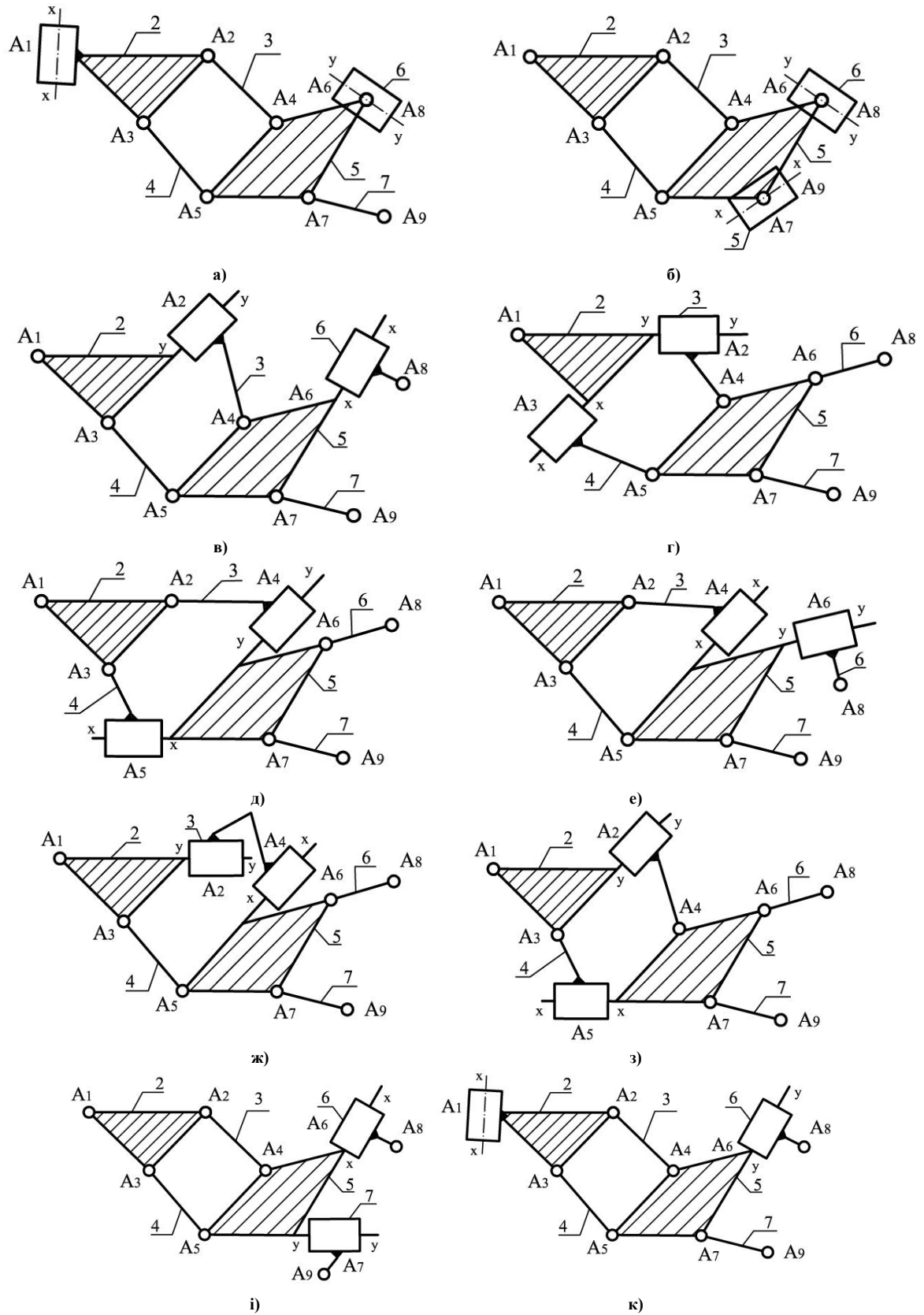


Рис. 3. Групи Ассура четвертого класу третього порядку з сьома обертальними та двома поступальними кінематичними парами (вісі xx , yy не є паралельними): а, б – варіанти з двома зовнішніми поступальними парами; в, г, д, е, ж, з, і – варіанти з двома внутрішніми поступальними парами; к – варіанти з однією внутрішньою та однією зовнішньою поступальними парами

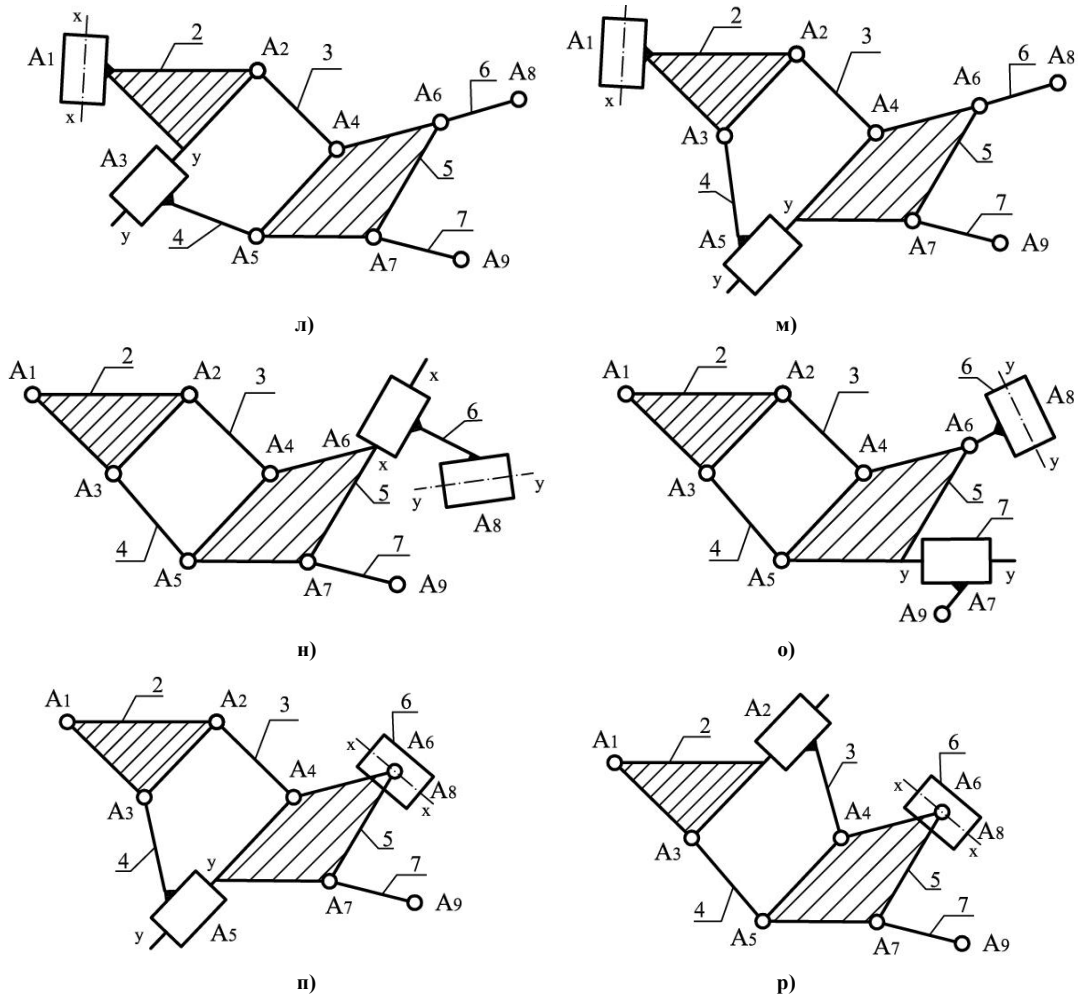


Рис. 3. Групи Ассур четвертого класу третього порядку з сьома обертальними та двома поступальними кінематичними парами (вісі xx , yy не є паралельними): л, м, н, о, п, р – варіанти з однією внутрішньою та однією зовнішньою поступальними парами (продовження)

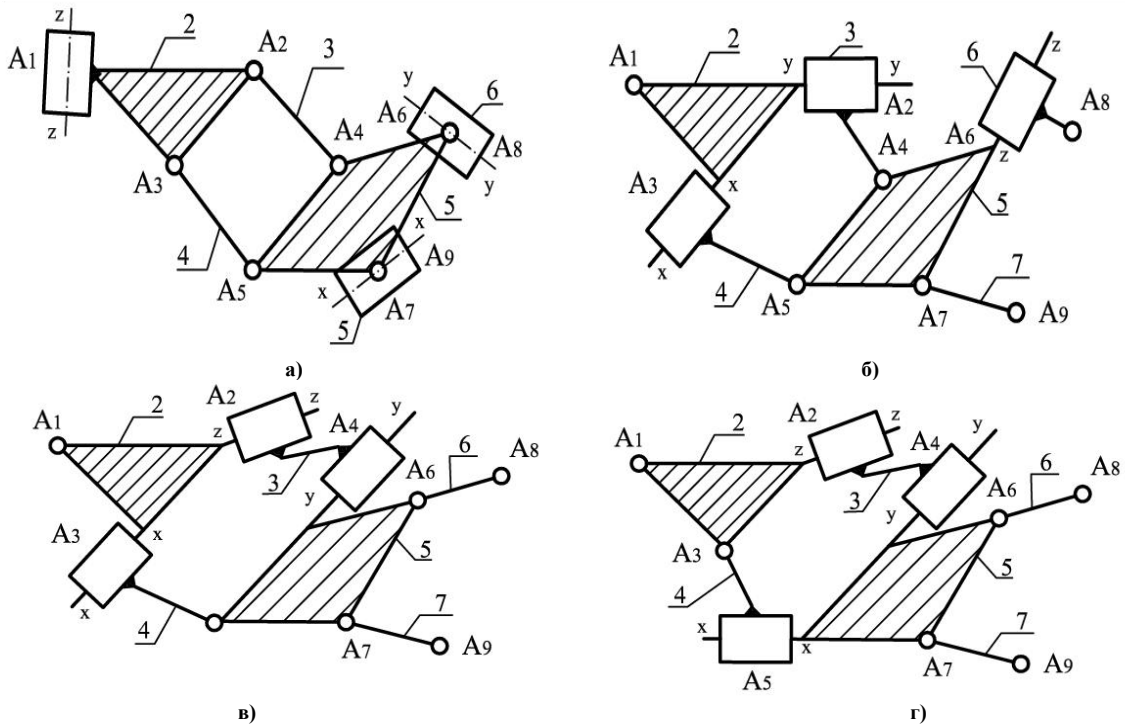


Рис. 4. Групи Ассур четвертого класу третього порядку з шістьма обертальними та трьома поступальними кінематичними парами (вісі xx , yy , zz не є паралельними): а – з трьома зовнішніми поступальними парами; б, в, г – варіанти з трьома внутрішніми поступальними парами

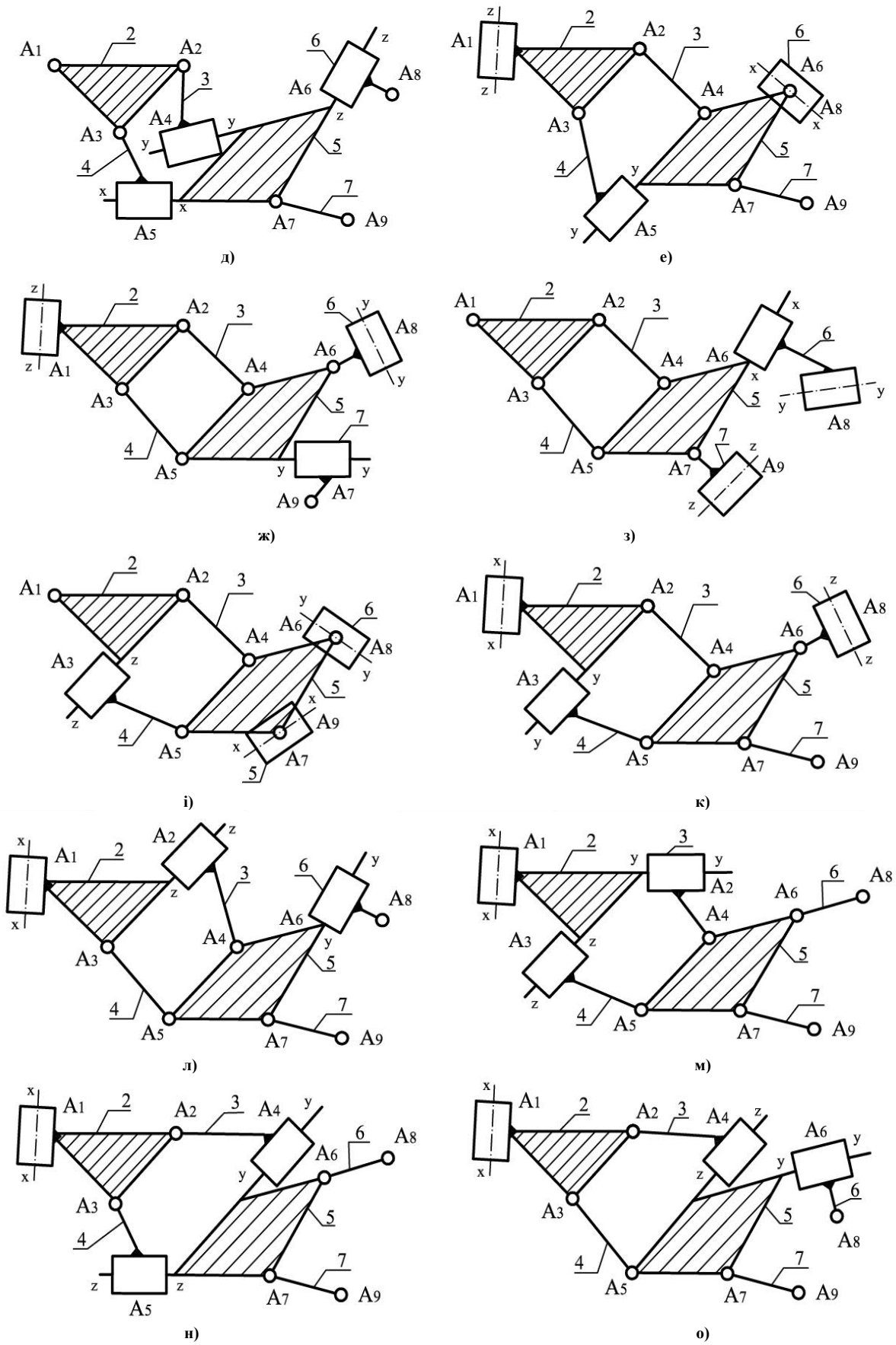


Рис. 4. Групи Ассур четвертого класу третього порядку з шістьма обертальними та трьома поступальними кінематичними парами (вісі xx , yy , zz не є паралельними): д – варіанти з трьома внутрішніми поступальними парами; е, ж, з, і, к – варіанти з двома зовнішніми та однією внутрішньою поступальними парами; л, м, н, о - варіанти з однією зовнішньою та двома внутрішніми поступальними парами (продовження)

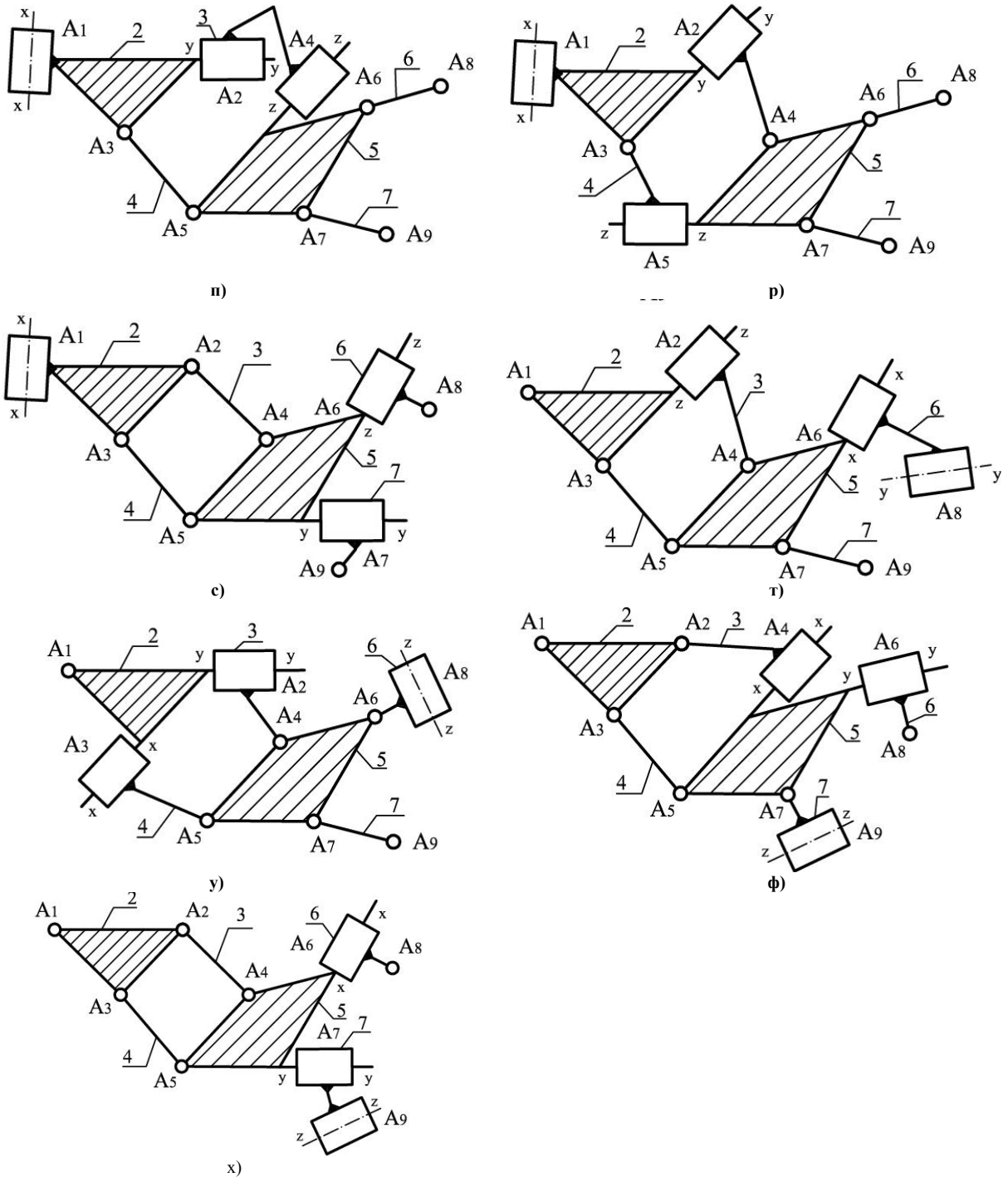


Рис. 4. Групи Ассур четвертого класу третього порядку з шістьма обертальними та трьома поступальними кінематичними парами (вісі xx , yy , zz не є паралельними): п, р, с, т, у, ф, х - варіанти з однією зовнішньою та двома внутрішніми поступальними парами (продовження)

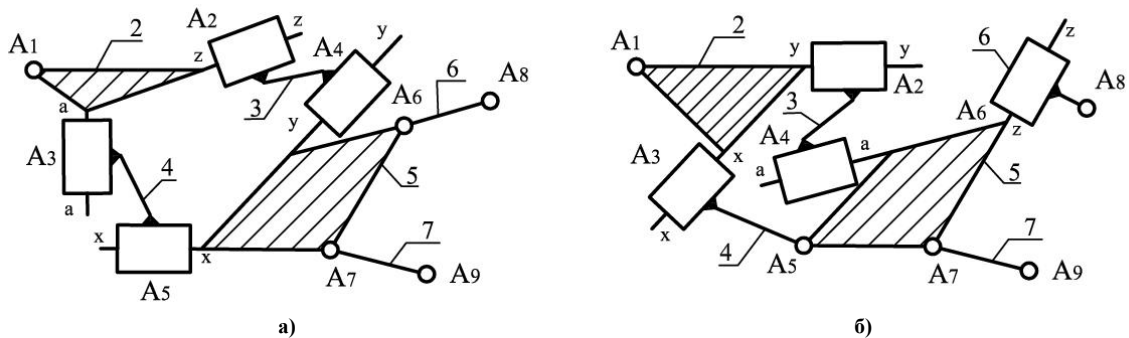


Рис. 5. Групи Ассур четвертого класу третього порядку з п'ятьма обертальними та чотирма поступальними кінематичними парами (вісі xx , yy , zz , aa не є паралельними): а, б – варіанти з чотирма внутрішніми поступальними парами

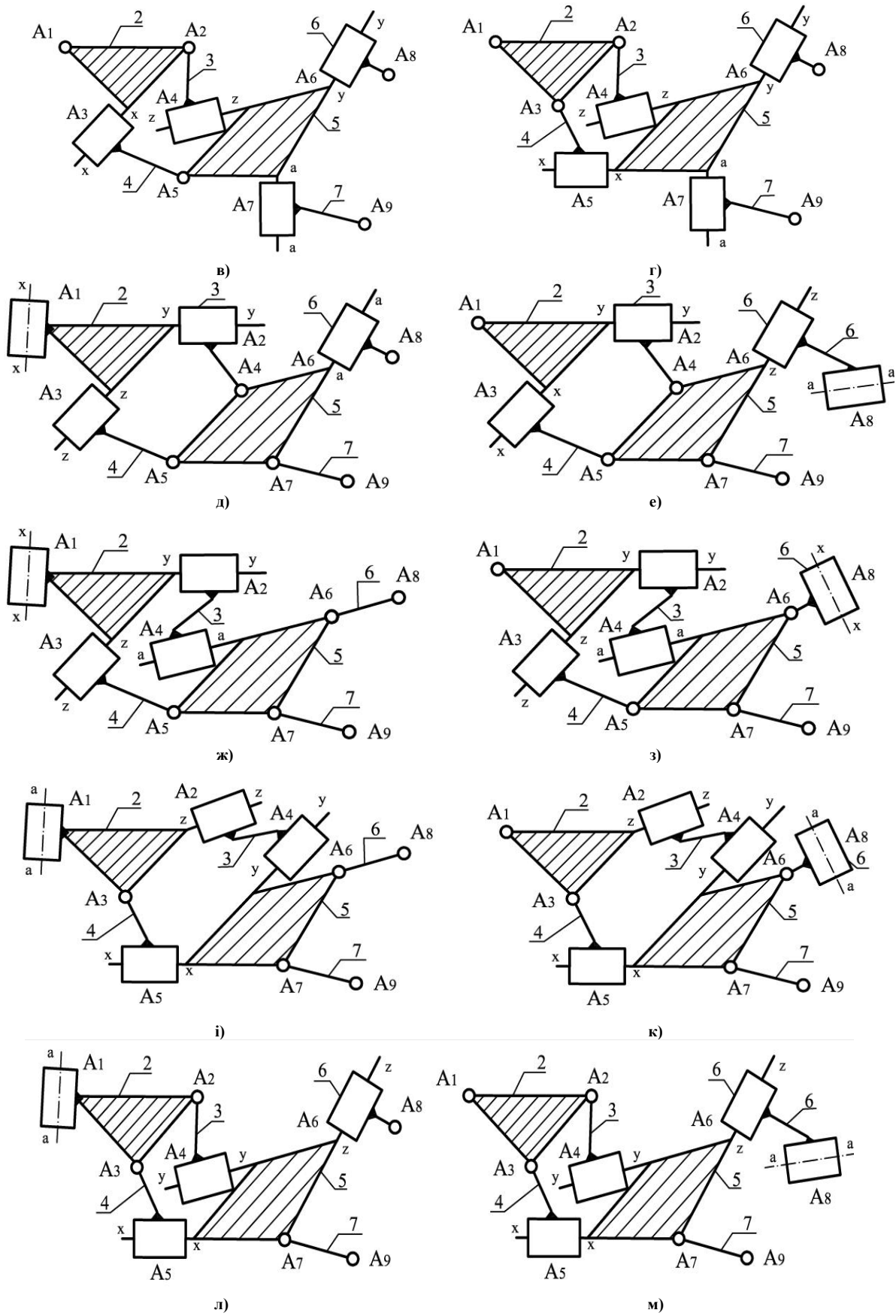


Рис. 5. Групи Ассур четвертого класу третього порядку з п'ятьма обертальними та чотирма поступальними кінематичними парами (вісі xx , yy , zz , aa не є паралельними): в, г – варіанти з чотирма внутрішніми поступальними парами; д, е, ж, з, і, к, л, м – варіанти з трьома внутрішніми і однією зовнішньою поступальними парами (продовження)

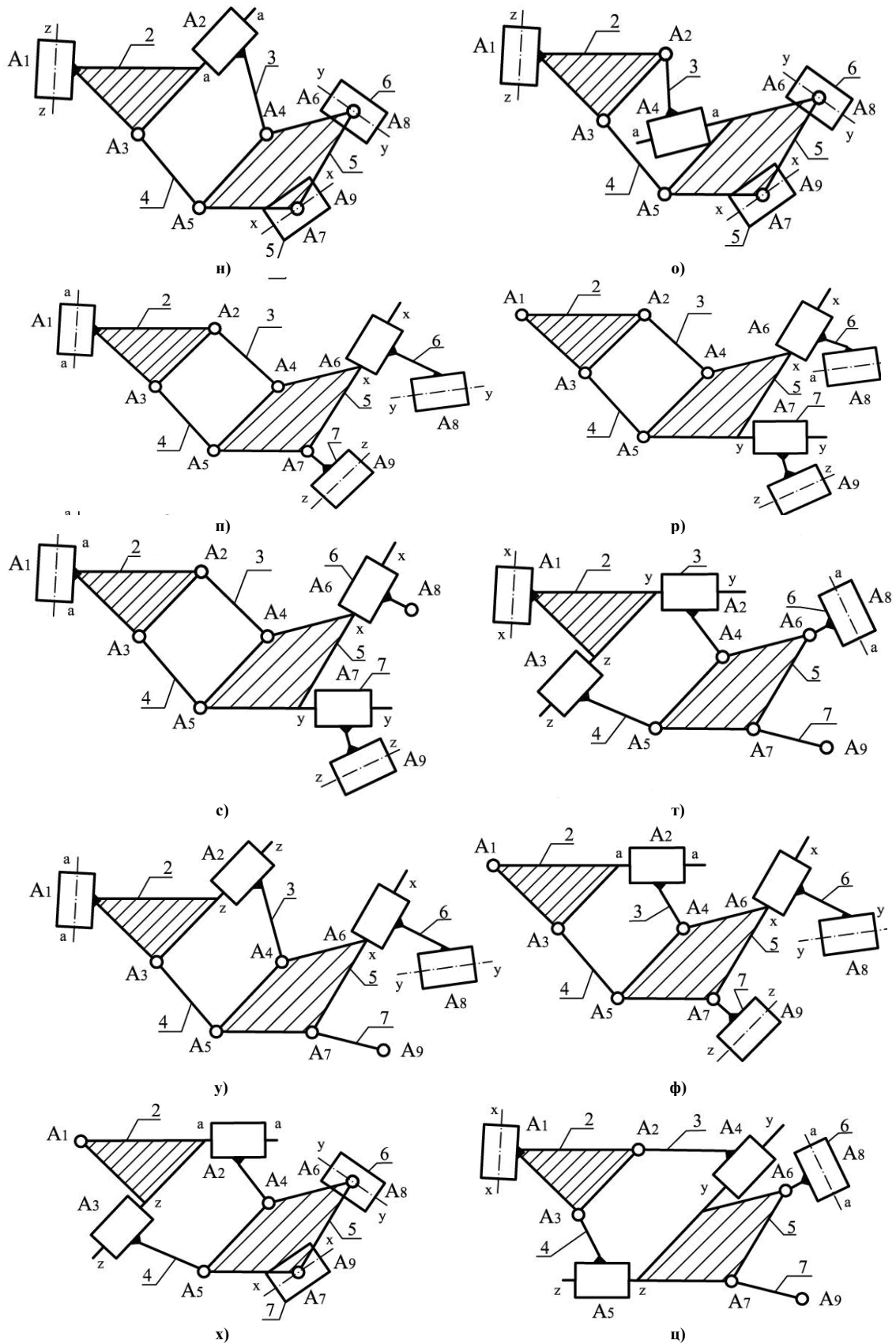


Рис. 5. Групи Ассур четвертого класу третього порядку з п'ятьма обертальними та чотирма поступальними кінематичними парами (вісі xx , yy , zz , aa не є паралельними):
 н, о, п – варіанти з трьома зовнішніми і однією внутрішньою поступальними парами;
 р, с, т, у, ф, х, ц – варіанти з двома зовнішніми і двома внутрішніми поступальними парами (продовження)

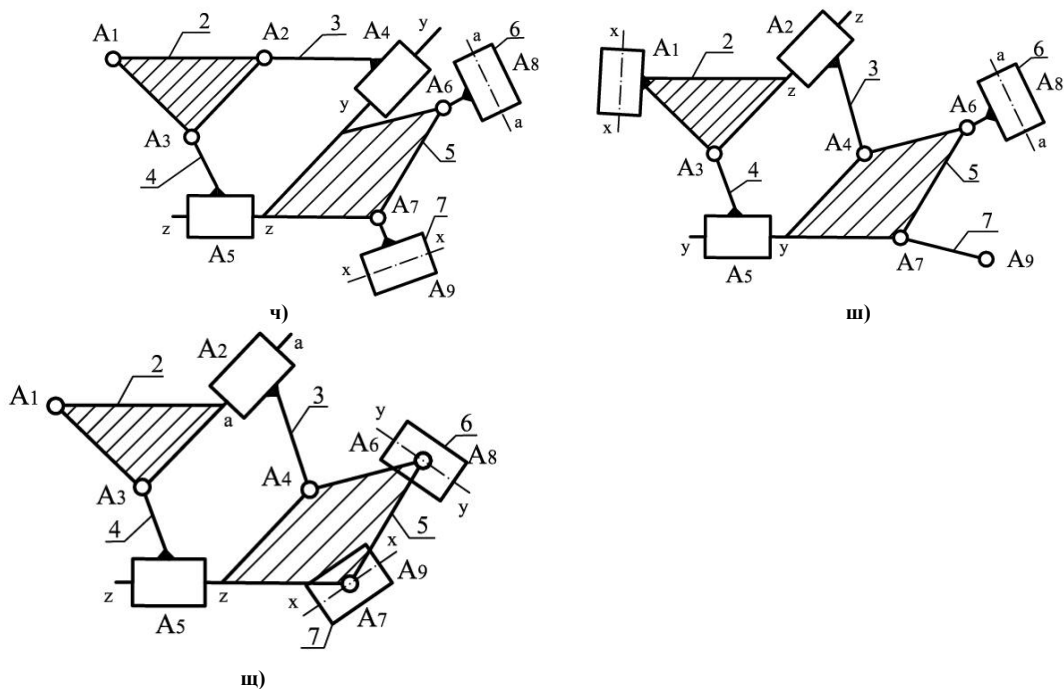


Рис. 5. Групи Ассура четвертого класу третього порядку з п'ятьма обертальними та чотирма поступальними кінематичними парами (вісі xx, yy, zz, aa не є паралельними):
 ч, ш, щ – варіанти з двома зовнішніми і двома внутрішніми поступальними парами

Інші види груп Ассура четвертого класу третього порядку можна отримати, якщо в варіантах (рис. 1–5) замінити обертальні і поступальні кінематичні пари, відповідно, поступальними і обертальними парами. Для того, щоб визначити послідовність кінематичного дослідження на основі наведених варіантів груп Ассура четвертого класу третього порядку згідно з умовною заміною ведучої ланки будемо вважати, що дійсна ведуча ланка 1 механізму (кривошип) утворює з ланкою 2 групи кінематичну пару A_1 , а дві інші зовнішні кінематичні пари A_8, A_9 утворені відповідними ланками 6, 7 групи Ассура та стояком O .

Результати дослідження для зручності наведені в таблиці. Формули будов механізмів, що є кінематично-еквівалентними механізмам четвертого класу мають варіанти, в яких умовно іншою можливою ведучою ланкою є ланка 7.

Аналіз формул наведених в таблиці дозволяє стверджувати, що механізм четвертого класу з замкненим контуром утвореним шатунами та двома складними ланками на основі груп Ассура четвертого класу третього порядку можна кінематично дослідити в послідовності, яка обумовлена формулою будови умовного кінематично-еквівалентного механізму третього класу.

Формули будов умовних кінематично-еквівалентних механізмів

Для варіанту рис. 1 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 1 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 6 обертальних пар)
Для варіантів рис. 2 а) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 1 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 1 внутрішня поступальна пара) б) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 6 обертальних пар) в) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 1 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 1 зовнішня поступальна пара) г) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 1 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 1 внутрішня поступальна пара) д) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 3 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 6 обертальних пар)
Для варіантів рис. 3 а) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 1 внутрішня поступальна пара) б) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 6 обертальних пар) в) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 3 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 1 внутрішня поступальна пара) г) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 1 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 2 внутрішні поступальні пари) д) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 1 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 2 зовнішні поступальні пари)

- г) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 5 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 2 зовнішні поступальні пари)
- д) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 3 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 3 внутрішні поступальні пари)
- е) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 5 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 2 внутрішні поступальні пари)
- ж) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 1 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 1 зовнішня, 3 внутрішні поступальні пари)
- з) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 1 зовнішня, 2 внутрішні поступальні пари)
- і) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 1 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 2 зовнішні, 2 внутрішні поступальні пари)
- к) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 2 зовнішні, 1 внутрішня поступальні пари)
- л) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 3 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 2 зовнішні, 1 внутрішня поступальні пари)
- м) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 5 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 2 зовнішні поступальні пари)
- н) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 2 внутрішні поступальні пари)
- о) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 1 зовнішня, 1 внутрішня поступальні пари)
- п) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 5 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 1 внутрішня поступальна пара)
- р) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 6 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 6 обертальних пар)
- с) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 5 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 1 внутрішня поступальна пара)
- т) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 3 внутрішні поступальні пари)
- у) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 5 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 2 внутрішні поступальні пари)
- ф) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 5 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 1 внутрішня поступальна пара)
- х) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4; 2 внутрішні поступальні пари)
- ц) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 2 зовнішні, 1 внутрішня поступальні пари)
- ч) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 2 зовнішні поступальні пари)
- ш) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 1 зовнішня, 2 внутрішні поступальні пари)
- щ) 1 клас (0,7) → 2 клас 2 порядок 2 вид (5,6) → 3 клас 3 порядок (1–4, 1 зовнішня, 1 внутрішня поступальні пари)

Висновки

Зроблено структурне дослідження механізмів 4-го класу з замкненим контуром утвореним шатунами та двома складними ланками на основі можливих видів груп Ассур 4-го класу третього порядку за допомогою умовної зміни ведучої ланки механізму. Отримані результати дозволяють зробити можливим виконання кінематичного аналізу механізмів четвертого класу та з'ясувати послідовність визначення кінематичних параметрів точок таких механізмів.

Література

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский – М. : Наука, 1988. – 640 с.
2. Кошель С. О. Анализ плоских механизмов с структурными группами 3-го класса / Кошель С. О., Кошель Г. В. // Вісник КНУТД. – К., 2012. – № 4. – С. 22–26.
3. Баранов Г.Г. Курс теории механизмов и машин / Баранов Г.Г. – М. : Машиностроение, 1975. – 494 с.
4. Сборник научно-методических статей по теории механизмов и машин. Выпуск 9. – М. : Высш. шк., 1982. – 160 с.

Рецензія/Peer review : 22.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Рецензент : проф., д.т.н., Місяць В.П.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРЕСИВНИХ ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ В УМОВАХ РЕМОНТУ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

У статті представлено результати експериментальних досліджень процесу різання відрізними різцями з бічною установкою БНП, що дозволили підтвердити їх працездатність та прогресивність. У результаті виконання досліджень та опрацювання експериментальних даних уперше отримано математичні моделі, що адекватно описують силові параметри (P_x і P_y) процесу різання пропонованими різцями. Визначено раціональні значення переднього та заднього кутів.

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

M. V. BABIY

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

PROSPECTS OF PROGRESSIVE CUTTING CUTTERS UNDER REPAIR SHIP POWER PLANTS

The paper presents the experimental results of the cutting process for cutting with lateral cutter installation MDP, which allowed them to confirm performance and progressiveness. As a result of investigations and processing of experimental data obtained first mathematical models that adequately describe the power parameters (P_x and P_y) offered cutter cutting process. Rational values defined front and rear angles. Established that inappropriate front angles carry negative $\gamma > -6^\circ$ because it leads to a significant increase in cutting forces, and rear angles $\alpha < 6^\circ$, because it leads to a smoothing of the posterior surface. The other fundamental differences in terms of cutting the proposed cutters and the MDP from previously known there, allowing high-reliability identical to consider all major modes of operation and operating performance.

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. Морське (річкове) судно під час виконання рейсу є автономною замкненою системою і тому важко уявити собі машинне відділення без суднової механічної майстерні, призначеної для усунення різноманітних відмов та відновлення працездатності деталей та вузлів суднових технічних засобів і, як наслідок, забезпечення працездатності судна. Майже до 80 % робіт, пов'язаних із обробкою металів різанням на судні, виконуються на токарно-гвинторізному верстаті, який забезпечує виконання наступних операцій: проточування циліндричних поверхонь, підрізання торців та уступів, проточування канавок та відрізки заготовок, розточування, нарізання різьби, свердління та ін. Серед перелічених, саме операції відрізки виконуються у більш важких умовах, є трудомісткими і характеризуються великими витратами, як інструменту, так і оброблюваного матеріалу внаслідок недостатньої стійкості, міцності і жорсткості різальної частини і складних умов різання. Витрати відрізнних різців перевищують витрати прохідних та розточувальних більш ніж на 50%.

Головним фактором, який веде до зниження продуктивності обробки та значних витрат відрізнних різців в суднових умовах є застосування здебільшого напайних конструкцій різців, що є на сьогоднішній день технологічно та морально застарілим інструментом. Однією з головних причин виходу зі строю відрізнних різців є відривання напайної твердосплавної пластини від корпусу різця. Такі руйнування вимагають від суднового токаря високої кваліфікації по відновленню даного виду інструменту та наявність в механічній майстерні відповідного спеціального обладнання, яке, як правило відсутнє. Тому операції з відновлення працездатності інструменту здебільшого відбуваються з відхиленнями від технологічних вимог, оскільки витримати, наприклад, температурні режими при напайці різальної пластини в даних умовах проблематично, що в кінцевому результаті не гарантуватиме високу якість кріплення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій та визначення невирішених задач проблеми. Найбільш раціональним в даних умовах є використання сучасного металорізального інструменту із механічним кріпленням різальних пластин до корпусу інструменту. Даний вид інструменту відомих інструментальних фірм (Sandvik Coromant, ISCAR, Kemmer та ін.) знаходить широке застосування на сучасних прогресивних машино- та суднобудівних підприємствах. Однак їх недоліками є: складність конструкції різців та пластин, низька надійність кріплення різальної пластини у гнізді державки, обмеження глибини виконуваних канавок до 10 мм, що обмежує коло застосування даних різців, особливо в суднових умовах, де від інструменту вимагається широка універсальність.

Постановка задачі. Враховуючи вищесказане, найбільш раціональним є використання металорізального інструменту з мінімально можливою кількістю вказаних недоліків. Це особливо актуально в суднових умовах. Серед відрізнних різців найбільш доцільним буде застосування збірного відрізнного різця з бічною установкою багатогранної непереточуваної пластини (БНП) (рис. 1) [1]. Перевагою даної конструкції є максимальна простота при високій надійності і міцності кріплення БНП та



Рис. 1. Загальний вид відрізнного різця з бічною установкою БНП

достатній жорсткості різця, що було підтверджено в результаті експериментальних досліджень. Використання запропонованих БНП у порівнянні з пластинами відомих інструментальних фірм є більш ефективним за показниками технологічності форми, глибини відрізування (від 6,4 до 24 мм), витратам інструментального матеріалу, вартості, яка у перерахунку на одне різальне лезо, нижча в 2 і більше разів. Однак, невивченими дотепер залишаються силові параметри (P_z і P_y) процесу різання запропонованими різцями та як наслідок раціональні значення переднього γ та заднього α кутів, що пропонується виконати в даній роботі.

Результати досліджень. Експериментальні дослідження процесу різання відрізними різцями з бічною установкою БНП виконували в лабораторних умовах на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62. Сили різання визначали за допомогою електричного універсального динамометру УДМ-600 з комплектом підсилювальної та презентаційної апаратури. Експериментально виміри складових сил різання здійснювали по двох осях координат: P_z – по вертикалі; P_y – перпендикулярно осі оброблюваної заготовки. При експериментальних дослідженнях використовували заготовки циліндричної форми. Зовнішній діаметр заготовок складав $D = 20$ мм. Матеріал оброблюваних заготовок – Сталь 45.

Таблиця 1

Результати експериментальних даних дослідження процесу різання відрізними різцями з бічною установкою БНП

№ серії	№ досліду	Режими різання				Складові сили різання	
		γ , град	S , мм/об	n , об/хв	v , м/хв	P_z , Н	P_y , Н
		3	4	5	6	7	8
1	1	-5	0,07	315	20	1600	650
	2	-5	0,07	500	31,4	2000	780
	3	-5	0,07	630	40	2225	920
2	4	-5	0,12	315	20	1600	650
	5	-5	0,12	500	31,4	1900	780
	6	-5	0,12	630	40	2250	940
3	7	-6	0,074	315	20	1500	600
	8	-6	0,074	500	31,4	1800	720
	9	-6	0,074	630	40	2225	920
4	10	-6	0,097	315	20	1815	650
	11	-6	0,097	500	31,4	1900	780
	12	-6	0,097	630	40	2100	820
5	13	-8	0,074	315	20	2225	920
	14	-8	0,074	500	31,4	2400	940
	15	-8	0,074	630	40	2600	1100
6	16	-8	0,097	315	20	2720	1180
	17	-8	0,097	500	31,4	2720	1180
	18	-8	0,097	630	40	3100	1310
7	19	-10	0,07	315	20	2400	940
	20	-10	0,07	500	31,4	2700	1080
	21	-10	0,07	630	40	3100	1310
8	22	-10	0,12	315	20	3250	1380
	23	-10	0,12	500	31,4	3330	1395
	24	-10	0,12	630	40	3540	1415

Виведемо рівняння вертикальної (головної) P_z і радіальної P_y складових сил різання для кожного фіксованого значення переднього кута γ . за експериментальними даними, які подані у табл. 1. У цьому випадку складові сили різання є функціями від аргументів подачі S (мм/об) і швидкості різання V (м/хв). Оскільки вимірювання складових сил різання виконувалися для двох значень подачі S (мм/об), то поверхня відгуку може бути відновлена як лінійчата.

Як відомо, лінійчата поверхня має рівняння:

$$P(S;V) = f(0;V) \cdot (1-w) + f(1;V) \cdot w, \quad (1)$$

де w – нормалізована змінна ($0 \leq w \leq 1$), яка відповідає змінній S , з якою зв'язана формулою:

$$w = \frac{S - S_1}{S_k - S_1}, \quad (2)$$

де S_1 – перше, а S_k – останнє експериментальне значення подачі S .

Формула (2) переводить відрізок $[S_1; S_k]$ в одиничний відрізок $[0; 1]$.

Функціональні залежності $f(0;V)$ і $f(1;V)$ при фіксованих значеннях подачі S отримуємо за методом найменших квадратів (МНК), встановлюючи невідомі значення коефіцієнтів a і b у формулах:

$$\begin{aligned} f(0;V) &= a_0 V^{b_0}; \\ f(1;V) &= a_1 V^{b_1}. \end{aligned} \tag{3}$$

Для реалізації МНК скористаємося СКМ Maple 15, а саме командою *NonlinearFit* із пакету *Statistics*, яка виконує нелінійну апроксимацію експериментальних даних. Застосовуючи її до експериментальних залежностей $(V_i; P_i)$ для всіх випадків фіксованих значень переднього кута γ і подачі S , отримуємо аналітичні залежності виду (3), які подані в табл. 2.

Таблиця 2

Аналітичні залежності $f(0;V)$ і $f(1;V)$, відновлені за експериментальними даними

γ , град	P_z		P_y	
	$f(0;V)$	$f(1;V)$	$f(0;V)$	$f(1;V)$
-5	$386,094 \cdot V^{0,476}$	$358,601 \cdot V^{0,493}$	$141,908 \cdot V^{0,503}$	$127,914 \cdot V^{0,536}$
-6	$260,391 \cdot V^{0,575}$	$985,635 \cdot V^{0,195}$	$87,988 \cdot V^{0,628}$	$299,075 \cdot V^{0,248}$
-8	$1139,795 \cdot V^{0,221}$	$1579,327 \cdot V^{0,174}$	$429,294 \cdot V^{0,246}$	$768,142 \cdot V^{0,138}$
-10	$788,178 \cdot V^{0,367}$	$2273,029 \cdot V^{0,117}$	$217,021 \cdot V^{0,480}$	$1242,151 \cdot V^{0,035}$

Обчислимо за формулою (2) значення виразів w та $(1-w)$ для кожного фіксованого значення переднього кута γ . Результати обчислень зведемо у табл. 3.

Таблиця 3

Вирази нормалізованої змінної w та $(1-w)$, знайдені за експериментальними даними

γ , град	w	$(1-w)$
-5	$20,000S - 1,400$	$2,400 - 20,000S$
-6	$43,478S - 3,217$	$4,217 - 43,478S$
-8	$43,478S - 3,217$	$4,217 - 43,478S$
-10	$20,000S - 1,400$	$2,400 - 20,000S$

Підставляючи знайдені вирази із табл. 2 і 3 у формулу (1), отримуємо апроксимуючі рівняння для вертикальної (головної) P_z (табл. 4) і радіальної P_y складових сил різання (табл. 5).

Таблиця 4

Апроксимуюче рівняння вертикальної (головної) складової сили різання P_z

γ , град	Рівняння	Максимальна відносна похибка, %
-5	$(386,094 \cdot V^{0,476})(2,400 - 20,000S) + (358,601 \cdot V^{0,493})(20,000S - 1,400)$	3,4
-6	$(260,391 \cdot V^{0,575})(4,217 - 43,478S) + (985,635 \cdot V^{0,195})(43,478S - 3,217)$	6,5
-8	$(1139,795 \cdot V^{0,221})(4,217 - 43,478S) + (1579,327 \cdot V^{0,174})(43,478S - 3,217)$	5,8
-10	$(788,178 \cdot V^{0,367})(2,400 - 20,000S) + (2273,029 \cdot V^{0,117})(20,000S - 1,400)$	3,3

Апроксимуюче рівняння радіальної складової сили різання P_y

γ , град	Рівняння	Максимальна відносна похибка, %
-5	$(141,908 \cdot V^{0,503})(2,400 - 20,000S) + (127,914 \cdot V^{0,536})(20,000S - 1,400)$	3,9
-6	$(87,988 \cdot V^{0,628})(4,217 - 43,478S) + (299,075 \cdot V^{0,248})(43,478S - 3,217)$	8,2
-8	$(429,294 \cdot V^{0,246})(4,217 - 43,478S) + (768,142 \cdot V^{0,138})(43,478S - 3,217)$	6,5
-10	$(217,021 \cdot V^{0,480})(2,400 - 20,000S) + (1242,151 \cdot V^{0,035})(20,000S - 1,400)$	5,3

Графіки лінійчатих поверхонь $P_z(S;V)$ і $P_y(S;V)$ подані на рис. 2 – 3.

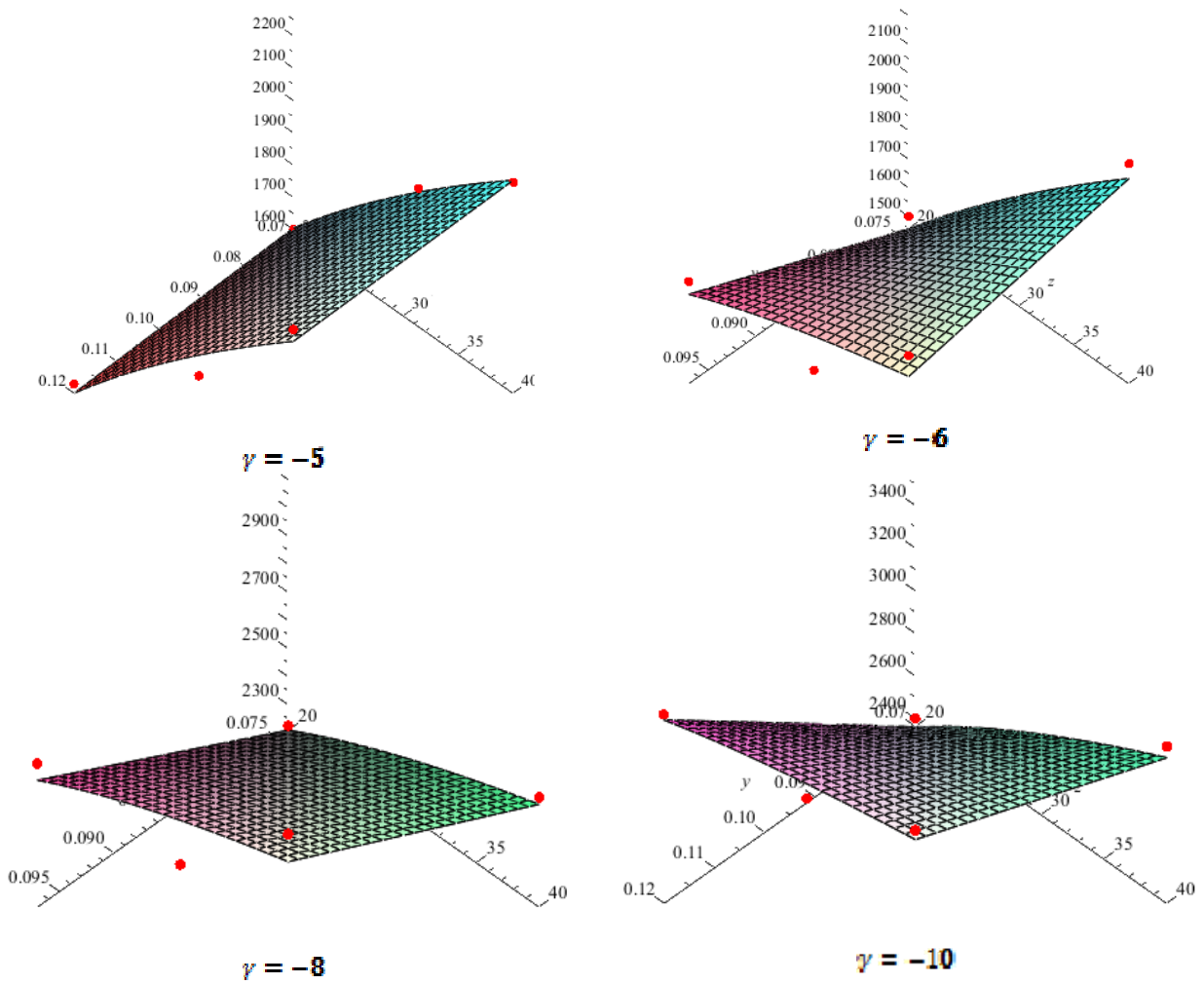


Рис. 2. Графіки лінійчатих поверхонь $P_z(S;V)$

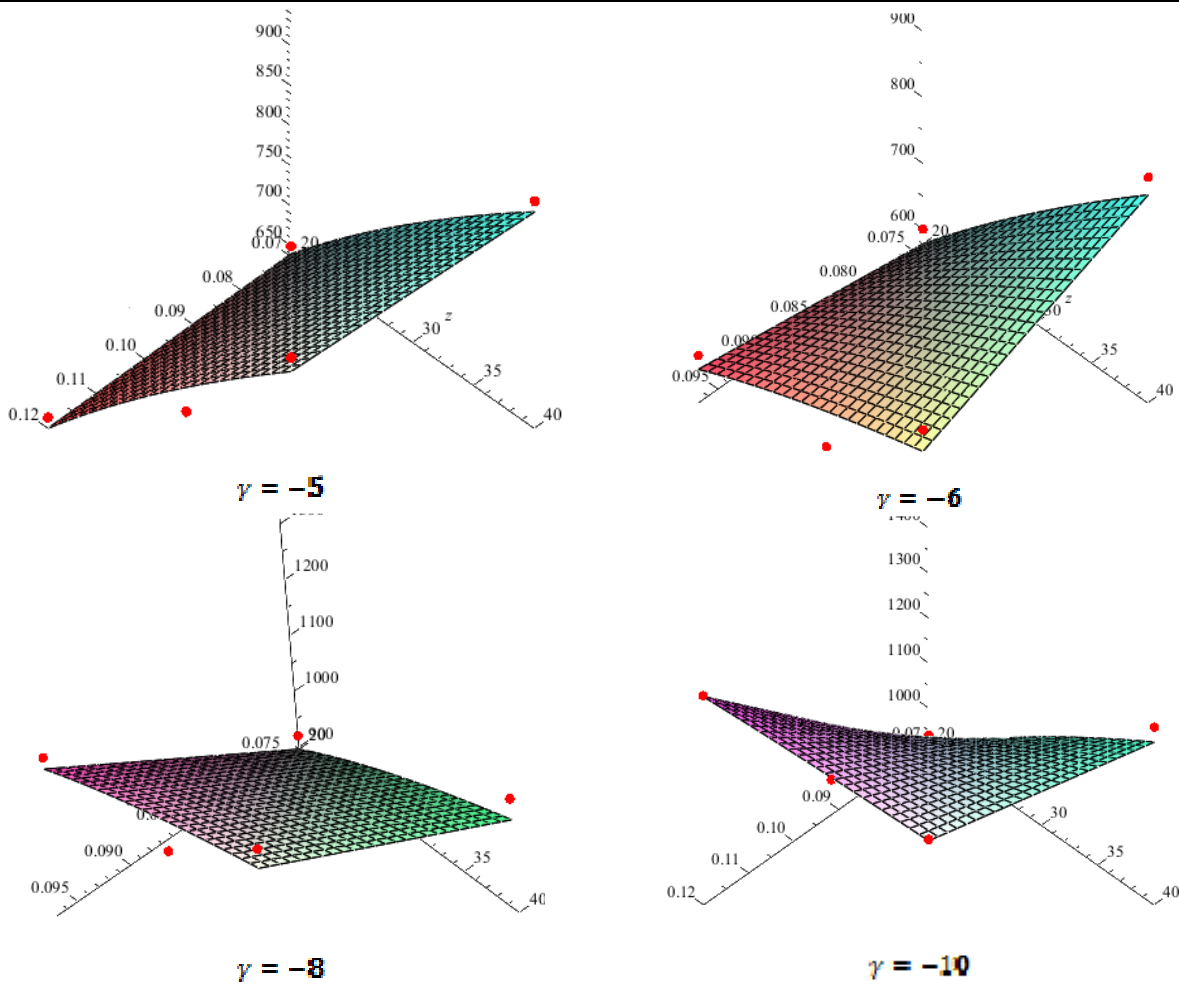


Рис. 3. Графіки лінійчатих поверхонь $P_y(S; V)$

Висновки. Експериментальні дослідження процесу різання пропонованими різцями з бічною установкою БНП, виконані в лабораторних умовах, дозволили підтвердити їх працездатність. У результаті виконання цих досліджень та опрацювання експериментальних даних уперше отримано математичні моделі, що адекватно описують силові параметри (P_z і P_y) процесу різання пропонованими різцями. Встановлено, що недоцільно виконувати від'ємні передні кути $\gamma > -6^\circ$, оскільки це призводить до значного збільшення сил різання, а задні кути $\alpha < 6^\circ$, бо це призводить до загирання по задній поверхні. Інших принципових відмін в умовах різання запропонованими різцями і БНП від раніше відомих немає, що дозволяє з високим рівнем достовірності вважати ідентичними усі основні режими їх роботи й експлуатаційні показники.

Література

1. Настасенко В.А. Новые виды отрезных и канавочных резцов с многогранными твердосплавными неперегачиваемыми пластинами / В.А. Настасенко, М.В. Бабий // Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – Вип. 38. – С. 150 – 157.
2. Роджерс Д. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс. — М. : Мир, 2001. – 604 с.

Рецензія/Peer review : 23.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Рецензент : к.т.н., доц. Проценко В.О.

FORCE DEPICTION OF THE RADIAL SIZE CHANGE OF THE HELICAL SPRING HONE

The article discloses the research principle of the deformation of helical spring deformed surface of a helical spring hone taking into consideration the results of theoretical, experimental and computer studies. As a result we got the system of equations which defines linear and angle loads in case deformation which appear on the helical spring surface. The scheme of definition of the torque performance while loading the helical spring deformed surface was suggested. The research enabled to build the force depiction of loads and spring deformation of helical spring deformed surface. We also suggested the scheme of definition of deformation force of the helical spring hone and its metering.

Key words: hole honing, force depiction, helical spring deformed surface, helical spring hone, adjustment of radial size.

К.К. ЩЕРБИНА

Кіровоградський національний технічний університет

СИЛОВИЙ ПОРТРЕТ ЗМІНИ РАДІАЛЬНОГО РОЗМІРУ ПРУЖНО-ГВИНТОВОГО ХОНУ

В статті розглядається принцип дослідження деформації пружно-деформованої оболонки пружно-гвинтового хону, враховуючи результати теоретичних, експериментальних та комп'ютерних досліджень. В результаті цього була отримана система рівнянь, яка визначає лінійні і кутові навантаження при деформації, котрі виникають в пружно-деформованій оболонці. Запропонована схема визначення дії крутного моменту при дії навантажень на пружно-деформовану оболонку. Проведені дослідження дали змогу побудувати силовий портрет навантажень та пружних деформацій пружно-деформованої оболонки. Також представлена схема визначення сили деформації пружно-гвинтового хону та його заміру.

Ключові слова: хонінгування отворів, силовий портрет, пружно-деформована оболонка, пружно-гвинтовий хон, регулювання радіального розміру.

Problem statement and analysis of research

The current research on deformation of compound bodies does not give accurate information about the change of the radial size while in the process of deformation [1]. So there are certain factors which make impossible to define force and deformation characteristics of helical spring hone (HSH) theoretically, including:

- variability of planes of the screw body cuts along its own geometrical axis [2];
- variability of tensions which appear in the spirals along the length of the helical spring deformed surface (HSDS) while application of force constant value [2];

Therefore, we made a decision to apply a combined method of research.

The combined method involves studying the interaction of the parameters that were obtained with the help of different methods, including:

- theoretical research of radial and axial spring deformations of HSDS [2];
- experimental study of forces' correlation and spring axial and radial deformations of HSDS;
- computer diagnostics of tensions that emerge in different points of the HSDS body [2];
- theoretical study of the torque effect on the spring deformation of the screw body with closed endings.

Helical deformation and the arising tangential tensions of the bodies similar to HSDS, for example, traditional springs are considered in a range of publications [3].

In this case the tangential tensions which arise in the body of the helical element in general view without differentiation of their values on every spiral were considered.

But computer diagnostics [2] showed different values of tensions which arise in the limits of every spiral of HSDS. Therefore, it would be reasonable to consider the process of arising of tensions in the body of HSDS directly in the limits of each separate spiral.

Research of the moments of torsion of a spiral of the helical spring hone

For this process it is necessary to take a number of assumptions, particularly:

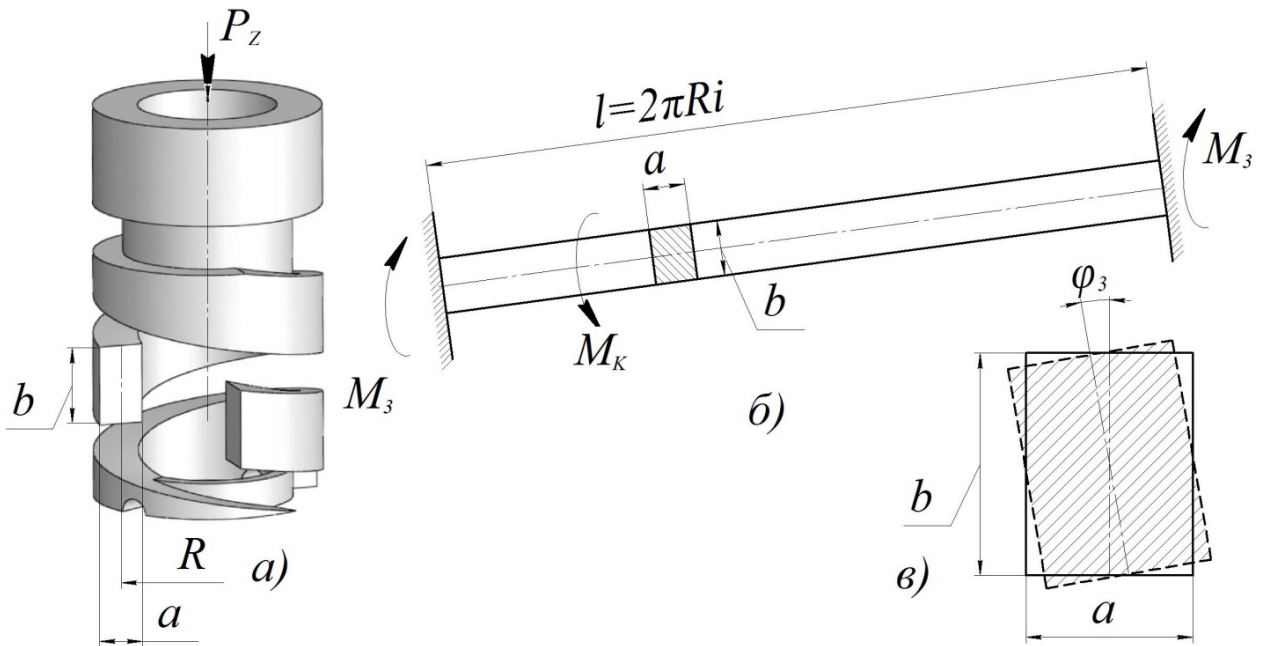
- helical deformations of spiral of HSDS as a result of torque and tangential tensions arise synchronously from the two opposite sides;
- helical deformation and the torque which provides the deformation at every sequential spiral takes into account the values of these parameters that were received at the previous spiral;
- the work of the torque is defined by the square of the triangle which is placed beyond coordinate axis: torque and the angle of twist;
- the force depiction is built on the basis of the data received for HSDS with nominal diameter 12.7 mm;
- the values of the loads of HSDS and corresponding to them helical deformations, linear and angular are defined with the help of equations [4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_3 = \frac{2\pi P_z R^2 i l}{\sigma_2 I} \\ \lambda = \frac{2\pi R^3 i}{\sigma_2 I} \\ \Delta d = 2R \cos(\alpha - \varphi_3) \\ \lambda = 2R \sin \varphi_i \\ \varphi_i = \alpha - \varphi_3 \end{array} \right. \quad (1)$$

where φ_3 – twist angle or the lift angle of the screw line after loading;
 P_z – axis force;
 R – radius of the cylinder of the body of HSDS along axis line of the crossed cut;
 i – number of spirals of HSDS;
 σ_2 – springiness modulus of the second kind or slip modulus;
 I – inertia moment, geometric characteristics of toughness while twisting;
 α – lift angle of the screw line before loading;
 λ – draft value of HSDS while loading;
 φ_i – lift angle of the screw line of HSDS after loading.

HSDS or helical screw element is considered as a straightened rod with closed endings [27, p. 208] see Fig.

1



R – HSDS radius; P_z – compressing force; M_3 – closing moment; M_k – torque; φ_3 – angle of twisting the cut; i – number of complete spirals of HSDS; l – length of spirals;
 a) HSDS; б) straightened rod; в) cut of the rod;
 Fig. 1. Scheme of HSDS loading

Deformation of the ending in the case of HSDS is carried out with closed position from both sides. That is why it is unreasonable to apply classical equations of the twisting angle [4, pp.206–209]. Fig. 2 shows the scheme of the action of torque loading with closed endings.

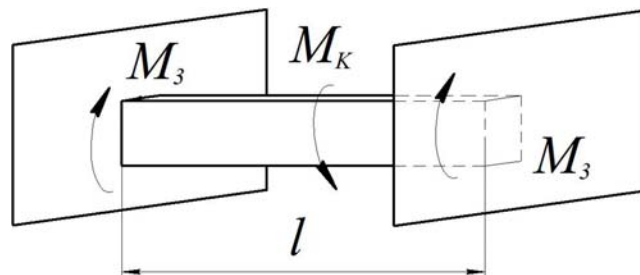


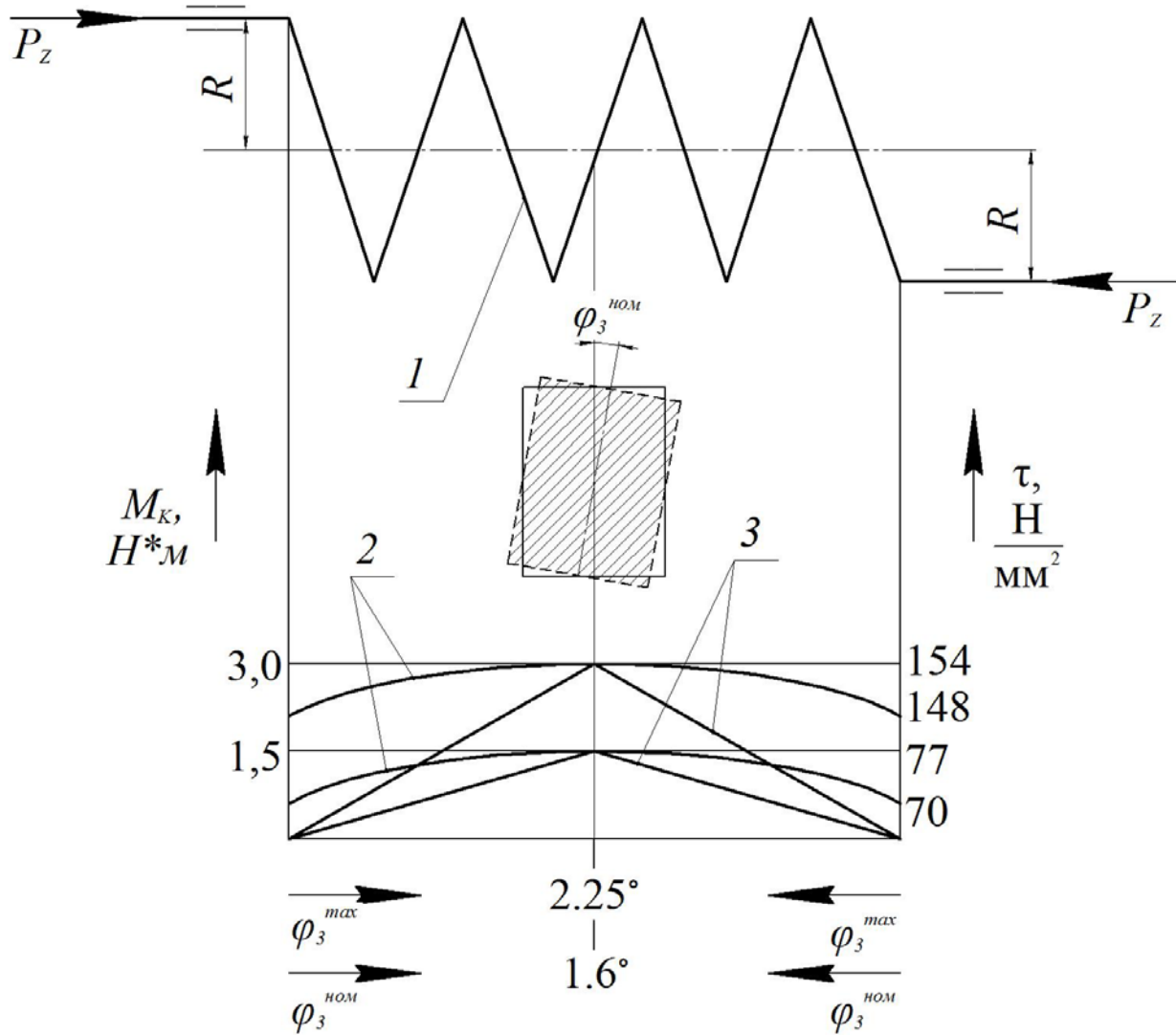
Fig. 2. The scheme of torque while loading of springy body of HSDS with closed ends

Accordingly, the twist angle φ_3 will be defined with the help of the equation:

$$\varphi_3 = \frac{0,5P_z R l}{\sigma_2 * I} \quad (2)$$

where l is the length of the straightened rod;
 σ_2 is the springiness modulus of the second kind or slip modulus.

Taking into account the above-mentioned assumptions we can build the scheme of HSDS loading with definition with the help of computer diagnostics of the characteristics of changes of tangent tensions (Fig. 3).



1 – HSDS; 2 – curvilinear dependence of the change of tangent tensions τ along the body of HSDS received by the method of computer diagnostics; 3 – the area of adjacent triangles which reflect the operation of the torque M_k .

Fig. 3. The graph of loading of HSDS

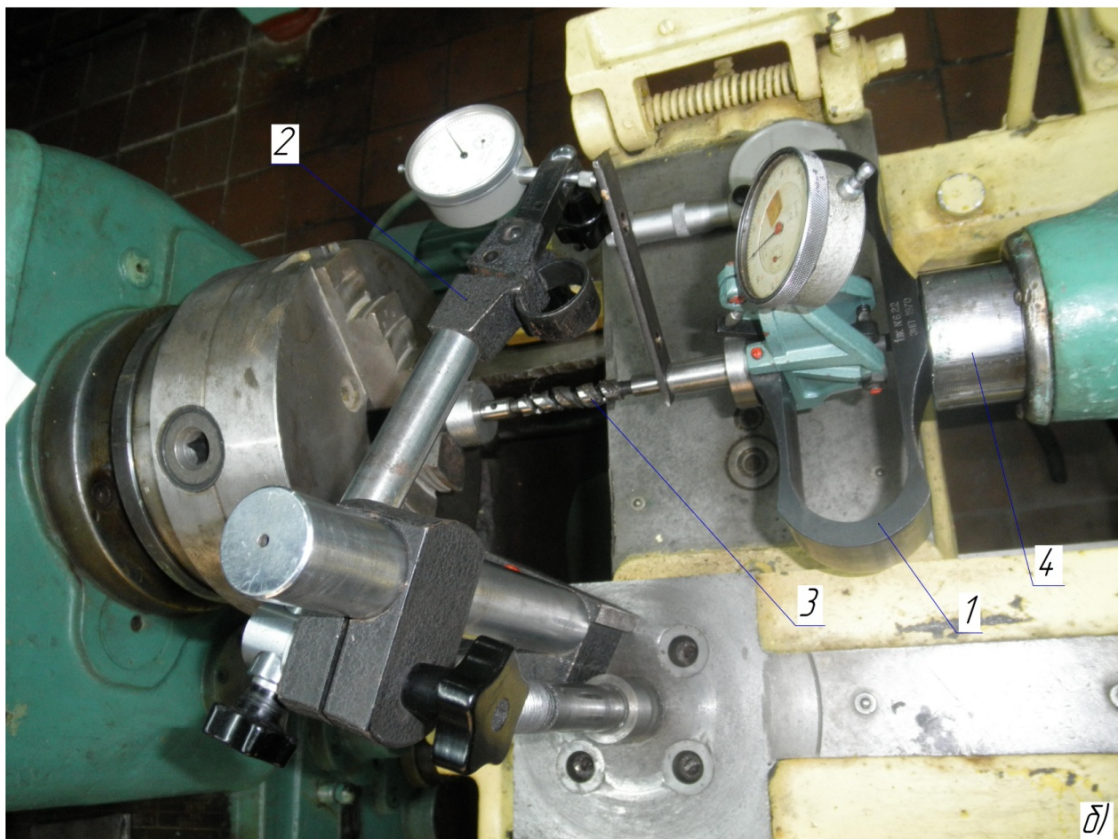
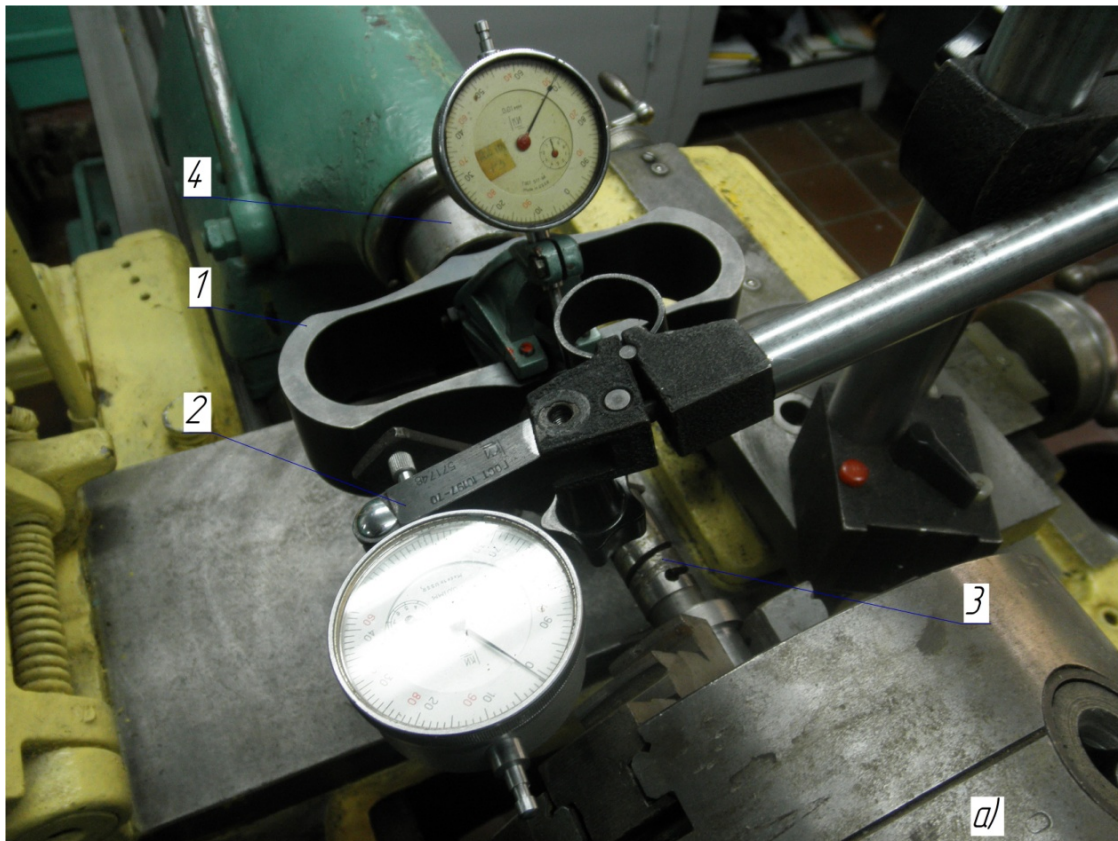
Experimental research of deformation of helical spring hone

Pilot mount for definition of the necessary strength of deformation and increase of diameter of HSDS was made after modernization of the lathe 1A616 and consists of dynamometer 1, magnetic indicator stand 2 and HSDS 3 (Fig. 4).

HSDS 1 is mounted into the three-jaw chuck of the lathe that has a special detent which limits axial movement. The dynamometer 1, in its turn, is mounted between HSDS 3 and the tailstock pinole 4. In order to define the axial deformation of HSDS 1 we used a special plate which is contacted with the knife of magnetic indicator stand 2.

The pilot mount works in the following way: the effort and axial movement are done due to the tailstock pinole. The value of the received axial movement is defined by the indicator which is mounted on the magnetic stand and the value of the applied force was counted by dynamometer 1 which had been calibrated before. The measurement of the received radial size was made by a micrometer.

Measurements of the external cylindrical contour of HSH were made by the reference machine (Fig. 5).



1 – dynamometer; 2 – magnetic indicator stand; 3 – HSDS; 4 – tailstock pinole;
 а) for HSDS with diameter Ø25 mm; б) for HSDS with diameter Ø12,7 mm;

Fig. 4. Pilot mount for definition of the necessary strength of deformation and increase of diameter of HSDS

The parameter values that are controlled in the process of diagnostics are given in Table 1. We received a considerable mismatch in theoretical and experimental dependences. This is because the screw groove was made with closed ends. In other words, in case of springy deformations there is a resistance. That is why we suggested applying empirical formulas to calculate the increase of diameter and the necessary value of deformation.



a) 1 – the reference machine Carl Zeiss CONTURA G2; 2 – sensor; 3 – HSH.
 a) general view of the measurement area of the external cylindrical contour of HSH;
 б) the measurement area of the external cylindrical contour of HSH;
 Fig. 5. Reference machine Carl Zeiss CONTURA

Table 1

Parameters that are controlled in the process of diagnostics

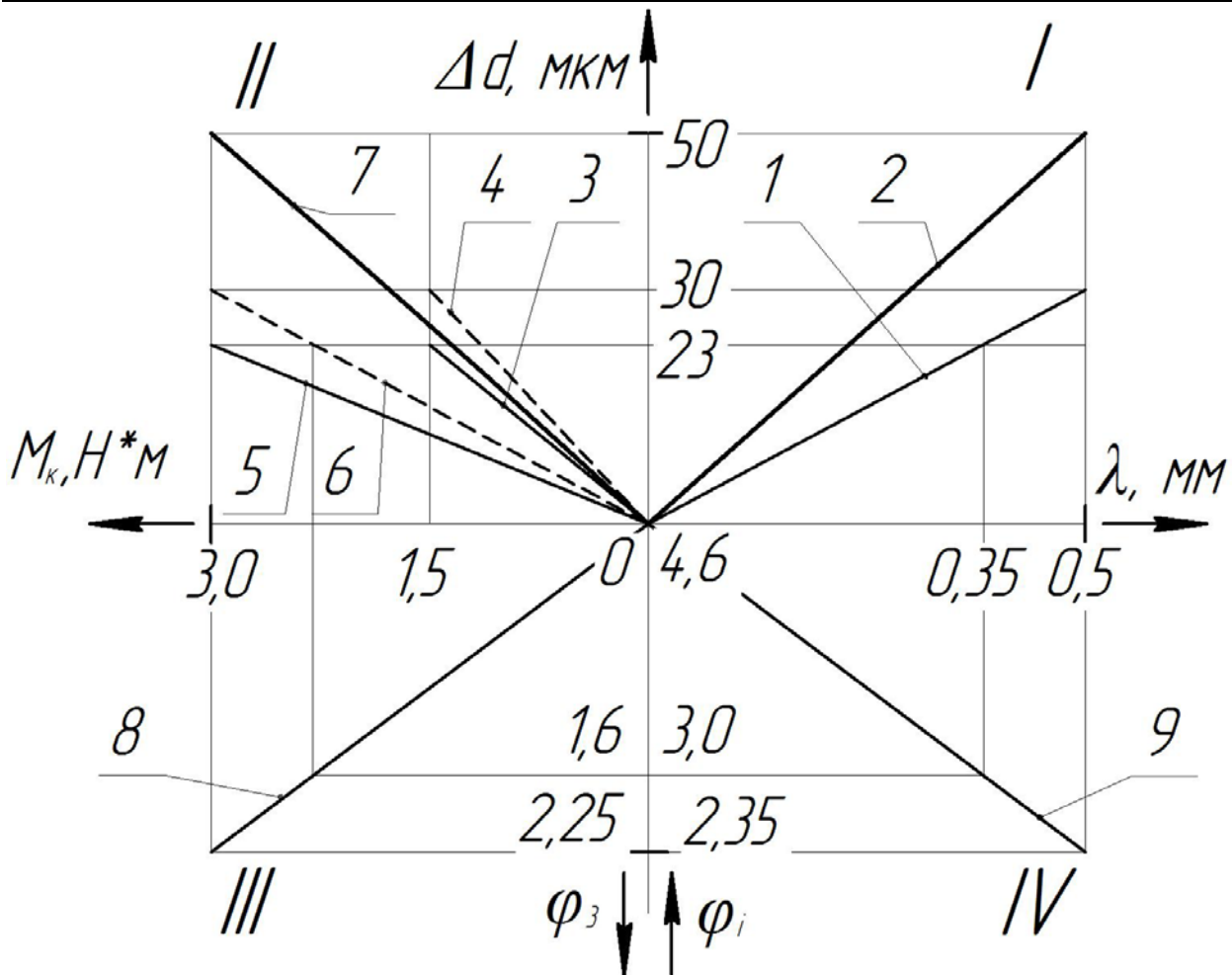
№	Value of indicator of movements, мм	Value of indicator of dynamometer	Effort PZ, H	Diameter, мм
1	2	3	4	5
HSH with diameter Ø12,7 мм				
1	0	0	0	8,74
2	0,25	20	597,5	8,76
3	0,5	40	1185,9	8,80
4	0,75	61	1803,8	8,82
5	1,0	80	2362,88	8,84
1	2	3	4	5
HSDS with diameter Ø25,0 мм				
1	0	0	0	21,17
2	0,25	20	597,5	21,18
3	0,5	38	1127,1	21,20
4	0,75	55	1627,3	21,22
5	1,0	70	2059,6	21,24

Force depiction of HSH

Force depiction of HSH is built on the basis of theoretical and experimental data shown in Picture 6.

Force depiction enables to define springy deformations which arise after corresponding loading.

The mismatch in theoretical and experimental graphs proves the difference in actual areas of the cuts of HSDS and their values which were taken into account in theoretical calculations.



I – theoretical 1 and experimental 2 dependence $\Delta d=f(\lambda)$; II – theoretical 3,4,5,6 and experimental 7 dependences $\Delta d=f(M_k)$; III – theoretical dependence 8 $\varphi_3=f(M_k)$; IV – theoretical dependence 9 $\varphi_3=f(\lambda)$; Δd – diameter increase; M_k – torque; λ – axial draft of HSDS; φ_3 – twisting angle; φ_i – alternating value of the angle of the screw line lifting;
 Fig. 6. Force depiction of loads and helical spring deformations of HSDS

Conclusions

Therefore, as a result of building of force depiction we received the following conclusions.

The tension in spirals of HSDS has alternating values along its spiral with the difference between the maximum and minimum values varying from 5 to 10% depending on the degree of loading.

The angle of the spiral shape changes according to the tension and the maximum value of angle shape is obtained in the middle of the body of HSDS.

The methodology of force depiction can be applied to define performance indicators of HSDS.

Springy deformation of the spirals of HSDS does not influence the operational performance because HSH is polished with maximum deformation before exploitation.

References

1. Podgaetskiy M.M. Osobennosti obrabotki pretsizionnyih otverstiy uprugovintovym honom / M.M. Podgaetskiy, K.K. Scherbina // Vestnik Permskogo Natsionalnogo Issledovatel'skogo Politehnicheskogo Universiteta «Mashinostroenie, materialovedenie». – 2013. – Vol. 15. № 2. – S. 30–39.
2. Pidgaetskiy M.M. Analiz vplivu poperednoyi makronerivnosti v protsesi honinguvannya pretsenziynih otvoriv / M.M. Pidgaetskiy, K.K. Scherbina // Zagalnoderzhavniy mizhvidomchiy naukovo-tehnichniy zbirnik. Konstruyuvannya, virobnistvo ta ekspluatatsiya silskogospodarskih mashin. – 2013. – Vip. 26. – S. 117–122
3. Pidgaetskiy M.M. Dinamichniy analiz traditsiyinih sistem reguluyuvannya radialnogo rozmiru v protsesi honinguvannya otvoriv / M.M. Pidgaetskiy, K.K. Scherbina // Visnik Hmel'nitskogo natsionalnogo universitetu: Tehnichni nauki. – 2014. – № 3 (213). – S. 134–138.
4. Belyaev N.M. Soprotivlenie materialov. Izd-8e. / N.M. Belyaev. – M. : Mashinostroenie, 1953. – 856 s.

Рецензія/Peer review : 26.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Кіріченко А.М.

УДК: 621.88.084.1

А.С. ЗЕНКІН, А.В. ПРИЩЕП, С.М. ЗЕНКІНА, О.В. МАЩЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДАННЯ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Стаття присвячена питанню дослідження шляхів забезпечення якості, зниження трудомісткості і вартості з'єднань з натягом, збірка яких здійснюється з використанням низьких температур на автоматизованому обладнанні. Отримано закономірності освіти сукупності структурних зв'язків, що діють в процесі складання з'єднань з натягом з використанням таких методів, і на їх основі розроблено загальну методику оцінки кількісної залежності між необхідною якістю будь-якого з'єднання, розрахунковими значеннями режимів складального процесу і необхідною для з'єднання точністю відносного положення поверхонь, що сполучаються.

Ключові слова: збірка, натяг, з'єднання, напруга, надійність, низькі температури.

A.S. ZENKIN, A.V. PRISHEP, S.M. ZENKINA, O.V. MASHCHENKO

Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, Ukraine

METHOD OF CALCULATION TECHNICAL PARAMETERS OF PREPARATION CONNECTED TO THE TENSION WITH LOW TEMPERATURES

Abstract - Article is devoted to problem of searching for ways providing quality, decrease of labour intensity, and value of joints with tension that are assembled using low temperatures with the help of automatic equipment. Objective laws of formation of structural connections set functioning in the a process of assembling of joints with tension using thermal methods were obtained. The objective laws were used in development of general, method of evaluation of quantitative dependence between required quality of any jointed values of regimes of assembling process and accuracy of relative position of surfaces integration needed for connection.

Key words: assembly, tension, joint, tension, reliable, low temperatures.

Основний розділ

Посадка з натягом широко застосовується в машинобудуванні для отримання нерухомих з'єднань, які не розбираються чи які рідко розбираються. Нерухомі з'єднання, які не розбираються, характеризуються точністю і міцністю. З'єднання з натягом відрізняються від інших з'єднань нерухомих з'єднань високої технологічною і надійністю і отримують всі більш розповсюджені в конструкціях машин і апаратів, замінюючи конічні, шпоночні і інші з'єднання.

Прикладом таких з'єднань є колісні пари для залізної – дорожніх вагонів, втулки в станках машин, біметалічні підшипники і ін.

При використанні звичайної технології складання з гарантованим натягом в більшості випадків отримують з'єднання за допомогою пресу або з нагрівом деталей (зовнішня деталь – охоплює, а внутрішня – охоплювана). Однак ці способи складання мають істотні недоліки. Так, посадки, яка здійснюється за допомогою преса, у ряді випадків не забезпечують достатньої міцності сполучення, а при зборці тонкостінних деталей часто виникає недопустимі деформації, тріщини і навіть полумки.

Особливо великі труднощі виникають при запресуванні довгих тонкостінних деталей у важкі великогабаритні корпуси і інші частини машин, де якісне складання за допомогою пресу зробити майже неможливо. Складання тонкостінних деталей з гарантованим натягом методом вібраційно-імпульсного впливу через недостатню жорсткість цих деталей досить обмежена. Застосування гвинтових пресів, ручних молотків, вантажів, підвішених за допомогою підйомного крану, для складання з'єднань є недосконалим і малопродуктивним процесом, який потребує великих затрат фізичного труда і не забезпечують необхідної міцності і довговічності з'єднань.

Міцність теплових посадок значно вище міцності пресових. Однак при теплових посадках нерідко виникають надмірна напруга і деформації в складальних деталях, не гарантується зберігання структури і механічних властивостей матеріалів, потребують значних затрат часу на нагрів охоплюючи деталей, яких може визвати появлення окалини, що значно ускладнює пресування, а іноді робить її взагалі неможливою. При зборці деталей з різним коефіцієнтом лінійного розширення, наприклад, бронзових втулок з великогабаритними сталевими деталями, виникають залишкові деформації, що приводить до ослаблення посадки.

Таким чином, звичайними методами здійснити якісне складання, яке забезпечить міцне і без деформаційне з'єднання тонкостінних деталей, практично неможливо.

Складання за допомогою охолодження охоплюваної деталі, у результаті якого вона стискається і може бути вільно встановлена на потрібне місце, дозволяє здійснювати всі стандартні пресовані посадки. Цей спосіб може застосовуватись при складанні тонкостінних деталей із відпаленої і загартованої сталі всіх марок, чугунку і кольорових металів, і при цьому не погіршується їх структура і якість. Одною із значних переваг посадок, які здійснюються за допомогою глибокого охолодження, є те, що деформація деталей значно зменшується і в ряді випадків відпадає необхідності їх наступної обробки. Це дає можливість виробляти кінцеву механічну обробку сполучених деталей до складання. Складання тонкостінних деталей за

допомогою охолодження охоплюваної деталі виконується значно швидше і з меншими затратами, ніж при використанні інших способів.

Складання способом охолодження в рідкому азоті – не дорога, безпечна операція, яка не вимагає громіздкого пня і великих зусиль робочого.

Застосування способу глибокого охолодження значно скорочує тривалість зборки, а також виключає обробку втулок після посадки. При з'єднанні, яке відбувається за допомогою холоду, не допускаються удари по охолодженій деталі, так як сталі багатьох марок і деякі сплави при низьких температурах стають крихкими.

Розрахунок міцності з'єднань з натягом, яке відбувається з охолодженням, відбувається по тим же формулам, які рекомендуються для розрахунку з'єднань, які відбуваються при звичайному запресуванні.

Коефіцієнти лінійного розширення при нагріві і коефіцієнти стискання при охолодженні для сталі, чугунку, бронзи і деяких інших сплавів приведені в табл. 1

Як видно з таблиці 1, коефіцієнти лінійного розширення при нагріві більші, ніж коефіцієнти стискання при охолодженні, що необхідно враховувати при визначенні температури охолодження деталей в процесі зборки із застосуванням холоду.

Розрахунки і досвід показують, що для здійснення стандартних пресових посадок в більшості випадків потрібні досить низькі від'ємні температури /від 213 до 123 К і нижче/.

Найбільш простим по влаштуванню і обслуговуванню є холодильні установки, які працюють на готових холодоносіях. Досвід показує, що використання установок економічно більш доцільно при умові централізованого виготовлення холодоносіїв на спеціалізованих заводах. При цьому створюються сприятливі умови для широкого впровадження нової технології зборки.

Таблиця 1

Коефіцієнти лінійного розширення /стискання/ при нагріві /охолодженні/ основних металів і сплавів

Матеріал	$\alpha \cdot 10^{-6}$	
	Нагрів	Охолодження
Сталь /1% С/ загартована	12	9,5
Сталь і фасоване сталеве лиття	11	8,5
Чавунне лиття	10	8
Кований чавун	10	8
Мідь	16	14
Бронза	17	15
Латунь	18	16
Алюмінієві сплави	23	18
Магнієві сплави	26	21

При виконанні зборки з охолодженням в рідкому азоті необхідно мати на увазі наступне. Після занурення виробів рідкий азот починає кипіти внаслідок інтенсивного пароутворення. Особливо бурхливе кипіння азоту спостерігається в кінці процесу охолодження. Після охолодженнь виробів до температури, близької до температури кипіння азоту, інтенсивність пароутворення різко знижується. Ця обставина може бути використана для орієнтованого контролю кінцевої температури охолодження виробів. Тривалість охолодження деталей в азоті коливається від декількох хвилин до 20-30 хвилин у залежності від розмірів їх поверхні і повинна встановлюватися досвідченим шляхом.

Перед охолодженням деталі потрібно ретельно очищати від масла і стружки, на крайках сполучених деталей необхідно зняти задирки. Після охолодження охоплювану деталь необхідно відразу з'єднати із сполученою для уникнення нагріву першої.

У процесі охолодження потрібно контролювати кількість азоту і при необхідності доповнювати його для того, щоб рівень рідкості був вище охолоджених деталей на 50–100 мм. При роботі з рідким азотом і іншими холодоносіями потрібно суворе дотримання спеціальних правил безпеки.

Для зменшення термічних напруг загартованості виробу, особливо складної форми, не рекомендується відразу занурюватись в рідкий азот. Їх необхідно попередньо витримати деякий час в холодильних парах над дзеркалом рідкого азоту в спеціальній сітці-контейнері.

Рекомендується також застосовувати холодильні камери, в яких передбачена можливість використання парів азоту для попереднього охолодження деталей. Така холодильна камера складається із відділення для попереднього охолодження деталей в парах азоту і відділення для кінцевого охолодження в рідкому азоті, що дозволяє отримати значну його економію до 30%.

Вибір варіанта технологічного процесу з термічним впливом у значній мірі пов'язаний з конструкцією з'єднання і факторами виробничого характеру (об'єм випуску, серійність, можливість встановлення обладнання для нагріву чи охолодження, умови зберігання холодоносія і т. д.). Технолог спочатку повинен визначити вид термічного впливу (нагрів, охолодження чи їх комбінація). Тут зазвичай визначальними виступають і натяг з'єднання, і конструкція. З'єднання з великими по розмірам і складними по конфігурації деталями при встановленні в них втулок, гільз, пальців потрібно збирати з охолодженням. Енерговитрати і можливі температурні деформації роблять зборку з нагрівом в цьому випадку неефективною.

Нагрів може бути рекомендований для зборки коліс, маховиків, тонких втулок з валами діаметром більше 100 мм, великих підшипників, при насадці бандажів і обичайок на центри коліс.

Натяг з'єднання і термічний складальний зазор визначають температуру, яка повинна мати нагріта (та що охоплює) чи охолоджена (охоплювана) деталь для здійснення зборки. Однак необхідна і компенсація збільшення діаметра охолодженої чи зменшення діаметра нагрітої деталі за час подачі на складальну позицію. Тоді температура термічного впливу

$$T = \frac{N_{max} + i + \Delta d_{c6}}{\beta d} \pm T_0,$$

Де N_{max} – максимальний натяг, мм; i – термічний складальний зазор, мм; Δd_{c6} – компенсаційне розширення (звуження) посадкової поверхні, мм; β – коефіцієнт лінійного розширення (звуження) матеріалу, $1/^\circ\text{C}$; d – номінальний діаметр з'єднання; T_0 – температура навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$, її приймають зі знаком «плюс» при розрахунку нагріву і зі знаком «мінус» при охолодженні.

Таблиця 2

Коефіцієнт лінійного розширення (звуження) β матеріалів при нагріванні (охолодженні)

Матеріал	$\beta * 10^6, 1/^\circ\text{C}$	
	Нагрів	Охолодження
Сталь загартована	12	-9,5
Сталь незагартована	11	-8,5
Чавун	10	-8
Мідь	16	-14
Бронза	17	-15
Латунь	18	-16
Алюмінієві сплави	23	-18
Магнітні сплави	26	-21

Температура T повинна бути менше T_{max} як максимально допустимою або доступною температурою. У табл. 2 представлені коефіцієнти лінійного розширення (звуження) матеріалів сполучених деталей.

Технологічний процес зборки з охолодженням з'єднань з гарантованим натягом є процесом з участю великої кількості факторів. Схематично його можна зобразити у вигляді схеми, представленої на рисунку 1.

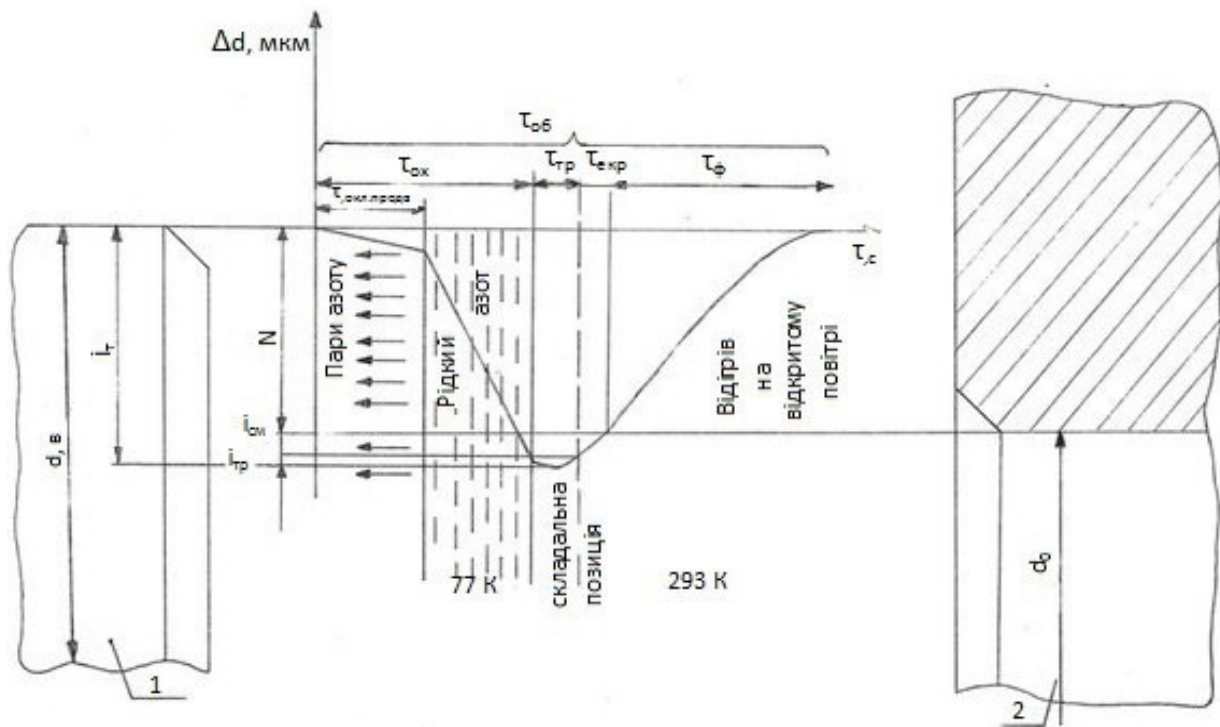


Рис. 1. Технологічні параметри автоматичної зборки з використанням низьких температур

Призначена для охолодження деталь 1 проходить стадію попереднього охолодження ($T_{охл,пр}$) в

парах холодоагенту (на схемі і в подальшому в якості холодоагенту прийнятий рідкий азот) і потім безпосередньо в середовищі холодоагенту охолоджується до температури його насичення (-195,8 °C). У цей період ($t_{охл}$) відбувається скорочення посадкового діаметра на величину i_T , визначену типом холодоагенту

$$i_T = (T_n - T_c) \alpha_{д1} * d, \tag{1}$$

де T_n і T_c – температури деталі в початковий момент зборки і холодоагенту;
 $\alpha_{д1}$ – коефіцієнт лінійного розширення деталі, яка охолоджується, град – 1;
 d – діаметр сполучення, М.

У свою чергу згідно схемі (рис. 1)

$$i_T = i_{ТФ} - i_{СМ} + N \tag{2}$$

Тут $i_{ТФ}$ – зміна величини посадкового діаметра охоплюваної деталі в процесі її транспортування на складальну позицію зі зборки, М;

$i_{СМ}$ – зазор, необхідний для вільного без заклинювання суміщення деталей, М;

N – натяг у з'єднанні.

Час необхідний для транспортування та суміщення деталей позначається на схемі $t_{ТФ}$.

Величина зазору $i_{СМ}$ залежить від кута перекосу деталей в початковий момент збірки, коефіцієнта тертя в зоні їх контакту, геометричних розмірів приєднаної деталі, зусилля та обраної схеми складання.

Як видно зі схеми (рис. 1), при обраному холодоагенті і заданому натязі в з'єднанні якісне сполучення деталей забезпечується співвідношенням $i_{ТФ} \ll i_{СМ}$. Чим менше $i_{ТФ}$, а відповідно $t_{ТФ}$, тим більша величина $i_{СМ}$ нижче вимоги до точності складальних механізмів.

Після сполучення збираючих з охолодженням деталей в з'єднанні спостерігається наявність зазору $i_{эф}$, величина якого $\leq i_{СМ}$.

Процес скріплення суміщених деталей, що забезпечує їх відносну нерухомість, складається з двох етапів: скорочення зазору $i_{эф}$ до нуля ($t_{эф}$), яке дозволяє видаляти зібране з'єднання зі складальної позиції, і формування натягу $T_{Ф}$ - найбільш відповідальний момент забезпечення міцності з'єднання.

Представлена технологічна схема відображає параметри реалізації процесу складання. Однак, на якість виробів, що збираються не менш істотний вплив роблять параметри деталей, які надходять на складання та розрахункові параметри з'єднання.

Всі параметри збірки умовно розділені на чотири групи залежно від їх впливу на технологічний процес:

1. Характеристики деталей, що збираються.
2. Розрахункові параметри з'єднань.
3. Параметри реалізації.
4. Параметри реалізованого з'єднання.

У таблиці 3 представлена класифікація технологічних параметрів процесу автоматичної зборки з охолодженням.

Таблиця 3

Класифікація технологічних параметрів автоматичної збірки з охолодженням

Параметри деталей /початкові дані/	Розрахункові параметри з'єднання	Параметри реалізації Лінійні: часові	Параметри реалізованого з'єднання
Геометричні $d; d_1; \sigma; R_d; D; L;$	2.1. $N_{расч.}$	3.1. $t_T t_{охл}$	4.1. $N_{факт.}$
$R_{д2}; \sigma_1; \sigma_2$	2.2. P_p чи $M_{кр}$	3.2. $t_{эф} t_{ТФ}$	4.2. $P_{факт}$ або $M_{кр}/факт/$
1.2. Фізико-механічні	2.3. $T_{охл.}$	3.3. $t_{СМ} t_{эф}$	
$E_1; M_1; C_{T1}; \alpha_{д1}; F_1; A_1$	2.4. М	3.4. $N_{шт} t_{Ф}$	
$E_2; M_2; C_{T2}; \alpha_{д2}; F_2; A_2$	2.5. α		
	2.6. Р		

Аналізуючи класифікацію, ми спостерігаємо тісний взаємозв'язок лінійних і часових параметрів, що дозволяє використовувати в дослідженнях і розрахунках часові параметри реалізації.

Процес охолодження деталі в середовищі холодоагенту є нестационарним процесом конвективного теплообміну в середовищі великого обсягу. Кількість тепла, що віддається деталлю становить

$$dQ = CdT, \tag{3}$$

де $C = V\rho c$ – повна теплоємність деталі, Дж/кг*К;

V – об'єм, $л^3$;

ρ – щільність, $кг/л^3$;

c – питома теплоємність, Дж/кг*К.

За законом Ньютона можна написати

$$dQ = Sa(T_x - T_c)dt, \quad (4)$$

де S – площа поверхні деталей, m^2 ;

α – коефіцієнт тепловіддачі, $Вт/м^2 \cdot K$;

Вирішуючи диференціальне рівняння виду

$$\frac{dT}{T_x - T_c} = \frac{\alpha S}{c} dt, \quad (5)$$

Можемо отримати рішення для тимчасового охолодження:

$$T_{ох} = \frac{d_{ох}}{\alpha S} (-\ln \Theta), \quad (6)$$

Процес нагріву деталі на відкритому повітрі при транспортуванні на складальну позицію так само є процесом конвективного теплообміну в середовищі великого обсягу. Середовищем в даному випадку є повітря, а умови теплообміну враховуються величиною α , яка в даному випадку буде відрізнятися від попередньої. Розрахунок $T_{ох}$ можна проводити за формулою 6.

Скріплення суміщених при складанні з охолодженням деталей відбувається в результаті збільшення лінійного розміру посадкового діаметра охоплюваної деталі в процесі її теплообміну з охоплюючою $T_{ох}$ при їх безпосередньому контактуванні. У початковий момент скріплення деталей величина зазору в з'єднанні становить $i_{ох}/2$ на сторону. Для зовнішнього (радіусу R) і внутрішнього (радіуса r) циліндрів зможуть бути записані два диференціальних рівняння наступного виду

$$c_1 m_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{2\pi \alpha r}{l_{ох}} (T_1 - T_2), \quad (7)$$

$$c_2 m_2 \frac{dT_2}{dt} = -\frac{2\pi \alpha R}{l_{ох}} (T_2 - T_1), \quad (8)$$

Тут m_1, m_2 – маси охоплюваної і охоплюючої деталей відповідно, кг;

T_1, T_2 – їх температура, К;

α_c – теплопровідність середовища, яке заповнює зазор $Вт/м \cdot K$.

Вирішуючи отриману систему рівнянь з урахуванням, що в момент $\tau = \tau_{ох}$ зазор $i_{ох}$ обертається в нуль, отримуємо

$$T_{ох} = \frac{l_{ох}}{2\pi \alpha_c \left(\frac{1}{c_1 m_1} + \frac{1}{c_2 m_2} \right)} \left[1 + \frac{1-\theta}{\theta} \ln(1-\theta) \right], \quad (9)$$

де $\theta = \frac{l_{ох}}{2\Delta T_0} = \frac{c_1 m_1 + c_2 m_2}{c_1 m_1 c_{12} r_{01} + c_2 m_2 c_{12} r_{02}}$

Тут ΔT_0 – різниця температур деталей в початковий момент скріплення, К;

r_{01}, r_{02} – радіуси деталей в точці сполучення при початковій температурі, м.

Після того як зазор між деталями скоротився до нуля і сталося початкове скріплення деталей, починається процес формування натягу, тобто процес впровадження однієї деталі в іншу, що супроводжується деформаціями їх контактних шарів.

Процес формування натягу слід розглядати як процес теплообміну між деталями через поверхню контакту, що має площу S і термічний опір R_T . Температури деталей в момент часу T_1, T_2 . Конічна температура T_θ обох деталей в момент закінчення формування натягу τ_θ за умови нехтування теплообміном з навколишнім середовищем визначника з рівності $c_1 m_1 (T_\theta - T_{01}) = c_2 m_2 (T_{02} - T_\theta)$;

$$T_\theta = \frac{c_1 m_1 T_{01} + c_2 m_2 T_{02}}{c_1 m_1 + c_2 m_2} \quad (10)$$

Потік тепла через межу розділу задається рівнянням

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{T}{R_T} S (T_2 - T_1) \quad (11)$$

Це означає, що потік тепла лімітований контактним термічним опором. Тоді приріст тепла в першому і другому циліндрах відповідно рівні

$$c_1 m_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{T}{R_T} (T_2 - T_1) \quad (12)$$

$$c_2 m_2 \frac{dT_2}{dt} = -\frac{T}{R_T} (T_2 - T_1) \quad (13)$$

Інтегруючи рівняння із заданими початковими умовами, отримуємо для рівності температур ΔT вираження

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-\frac{T}{R_T} \left(\frac{1}{c_1 m_1} + \frac{1}{c_2 m_2} \right) t} \quad (14)$$

Отримане рівняння визначає закон вирівнювання температур суміщених деталей в процесі формування натягу. Логарифмуючи його, отримуємо остаточну формулу

$$\tau_\theta = \frac{R_T}{S} * \frac{\ln \left(\frac{\Delta T_0 (1-\theta)}{\Delta T_\theta} \right)}{\frac{1}{c_1 m_1} + \frac{1}{c_2 m_2}} \quad (15)$$

Приведена методика розрахунку дозволяє проводити розрахунки основних технологічних

параметрів автоматичної зборки з охолодженням з'єднань з гарантованим натягом.

Висновки

1. Технологічна операція зборки і машинна допоміжна операція транспортування, які проводяться з нагрітою чи охолодженою деталлю, повинні виконуватись тільки з використанням механізмів. Це дозволить наряду з покращенням умов праці за рахунок швидких переміщень максимально скоротити потреби енергії внаслідок охолодження нагрітої чи нагрівання охолодженої деталі, а також виконати приєднання одної деталі до іншої швидко і точно.

2. Збірка відбувається з термічним зазором, розмір якого постійно зменшується, так як деталі змінюють свою температуру. При зменшенні складального зазору нижче допустимого значення зборка або зовсім не здійснюється, або буде відбуватися з пошкодженням посадкових поверхонь, або деталі з'єднуються до того, як вони займуть необхідне відносно один одного положення.

3. Час, необхідний на операцію термічного впливу і на перехід кріплення зібраного виробу, часто більший часу машинних операцій і переходів разом узятих. Його можна скоротити, вибравши раціональні конструкції нагрівальних і охолоджуючих приладів, використовуючи декілька нагрівників одночасно, а також використавши примусове охолодження (або нагрів) зібраного з'єднання.

4. Необхідними умовами примусового охолодження є: рідина, яка використовується для охолодження вузла, не повинна викликати корродування посадкових і інших важливих поверхонь; у процесі охолодження не повинні змінюватись структура і фізико-механічні властивості матеріалу; при охолодженні не повинно виникати небезпечних пошкоджень елементів нагрітої деталі за рахунок великого перепаду температур.

Література

1. Зенкин А. С. Сборка неподвижных соединений термическими методами. / А. С. Зенкин, Б. М. Арпентьев. – М. : Машиностроение, 1987. – 128 с.
2. Арпентьев Б. М. Механизация и автоматизация сборочных работ на машиностроительных предприятиях / Б. М. Арпентьев, А. С. Зенкин, А. Н. Куцын. – К. : Техника, 1994. – 232 с.
3. Зенкин А. С. Выбор оптимальной технологии сборки соединений с натягом при тепловых методах воздействия. / А. С. Зенкин, М. В. Шпара, В. П. Куценко, Ю. В. Остапук // Материалы Международной научной молодежной школы «Системы и средства искусственного интеллекта ССИИ – 2013», 23–27 сентября 2013. Казивели, АР Крым, Украина.
4. Оборський І. Л. Особливості створення верстатів для складання з'єднань з термодією / І. Л. Оборський, Ю. В. Остапук // Технологія і техніка друкарства. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – № 3 (35). – С. 36–42.

Рецензія/Peer review : 17.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф., Хімичева Г. І.

УДК 621.9.04

П.В. КЕБА, Д.О. ДМИТРІЄВ, Д.Д. ФЕДОРЧУК
Херсонський національний технічний університет

АНАЛІЗ КІНЕМАТИКИ, ТОЧНОСТІ ТА ДИНАМІКИ ПІРАМІДАЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ВЕРСТАТА З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

В роботі було проведено експериментальний аналіз переміщення вихідної ланки, за результатами вимірювань розраховано кінематичні похибки механізмів паралельної структури (МПС). В статті вказується математична модель, яку покладено в основу комп'ютерних програм «Tools Glide» — розв'язання задач кінематики, «Tools Response» — модуль оцінки пружного стану і динамічного відгуку верстатної системи та «Tools App» — динамічний відгук. В процесі проектування верстатів з МПС дане програмне забезпечення дозволяє проаналізувати властивості будь-яких варіантів конструкцій, що проектуються, та зробити вибір конструктивних вузлів, агрегатів та деталей.

Ключові слова: кінематична похибка, механізми паралельної структури, математична модель.

P.V. KEBA, D.O. DMYTRIEV, D.D. FEDORCHUK
Kherson National Technical University

KINEMATIC, ACCURACY AND DYNAMIC ANALYSIS OF PYRAMIDAL CONFIGURATION MACHINE TOOL WITH THE MECHANISM OF PARALLEL STRUCTURES

The main purpose was to study efficiency of the executive branch and the carriages of pyramidal arrangement to determine possible sources of errors in the positioning and further processing. Also vibration resistance of platform was examined. Experimental analysis of displacement output unit was carried out, according to the calculated cinematic mechanisms of parallel structure (MPS) measurement error. The article provides mathematical model, which is the basis for computer programs «Tools Glide» - solving kinematics, «Tools Response» - module for evaluation of elastic state and dynamic response system and tool «Tools App» - dynamic response. During the design tools from MPS this software allows you to analyze the properties of any options structures, and design, and a choose structural components, assemblies and parts.

Keywords: cinematic error, mechanisms of parallel kinematics, the mathematical model.

Постановка проблеми

В сучасних умовах вітчизняного верстатобудування пріоритетним напрямком розвитку вважається створення конкурентоспроможних зразків верстатів, які задовольнили б потреби галузі. В ринкових умовах перед виробничими підприємствами постають задачі, характер яких швидко змінюється, майже не щоденно. В сфері оброблювального обладнання необхідно мати різноманітне верстатне устаткування яке б дозволило забезпечити виконання вимог замовника із мінімальними капіталовкладеннями для одного підприємства на верстатне устаткування. Такими можна виділити верстати каркасного компонування з низькою металоємністю і високою продуктивністю оброблення. В свою чергу наявні деякі питання щодо керування такими верстатами у зв'язку з присутністю допоміжних ступенів рухомості. Вирішення питань якісного адаптивного управління верстатами нового покоління вирішить ряд питань і дозволить виготовляти спеціалізоване обладнання нестандартних комплектацій з широкими технологічними можливостями.

Аналіз проведених раніше досліджень

На сьогоднішній день велику увагу приділяють верстатам з механізмами паралельної кінематики, в роботі [1] було розроблено конструкцію спеціальних пристроїв (калібрів) для ідентифікації геометричних параметрів точності верстата з МПС та визначення параметрів його точності. В роботі [2] розглядаються основні типи багатокоординатних верстатів паралельної структури і можливості орієнтації її робочого органу відносно системи координат та проведена робота щодо забезпечення жорсткості шарнірних опор робочого органу верстата «пентапод» під дією радіального та осевого навантаження. Однак не було проведено досліджень щодо створення програмного забезпечення яке б в процесі проектування верстатів з МПС дозволило проаналізувати властивості будь-яких варіантів конструкцій, що проектуються, зробити вибір конструктивних вузлів, агрегатів та деталей.

Мета та задачі

Основною метою роботи було дослідження працездатності виконавчого органу та кареток верстата пірамідального компонування для визначення можливих джерел виникнення похибок при позиціонуванні та подальшій обробці. Також за мету взято розглядання вібростійкості несучої платформи. Однією з проблем у створенні верстатів з паралельною кінематикою є складність забезпечення точності переміщення виконавчого органу, а також забезпечити взаємозв'язок у переміщеннях рухомих кареток вздовж напрямних.

Особливістю механізмів паралельної структури є те, що залежно від їх конструктивного виконання, похибки викликані зазорами в підшипникових парах, неточністю виготовлення в одних випадках можуть підсумовуватися, в інших – вибираються найменші значення.

Основний зміст

Для розв'язання задач про положення складено систему рівнянь, що зв'язує геометрично положення опорних шарнірів на рухомій платформі і на напрямних верстата:

Розрахунок положень кінематичних ланок в площині ZOZ

$$\begin{cases} x_k = K_1 \cdot (z - z_1) + y_1 \quad (k = 2) \\ (x - x_{0i})^2 + (z - z_{0i})^2 = l_i^2 \quad (i = 2), \end{cases} \quad (1)$$

Розрахунок положень кінематичних ланок в площині ZOY

$$\begin{cases} y_k = K_2 \cdot (z - z_1) + x_1 \quad (k = 2) \\ (y - y_{0i})^2 + (z - z_{0i})^2 = l_i^2 \quad (i = 2), \end{cases} \quad (2)$$

де $K_1 = \frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1}; K_2 = \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}.$

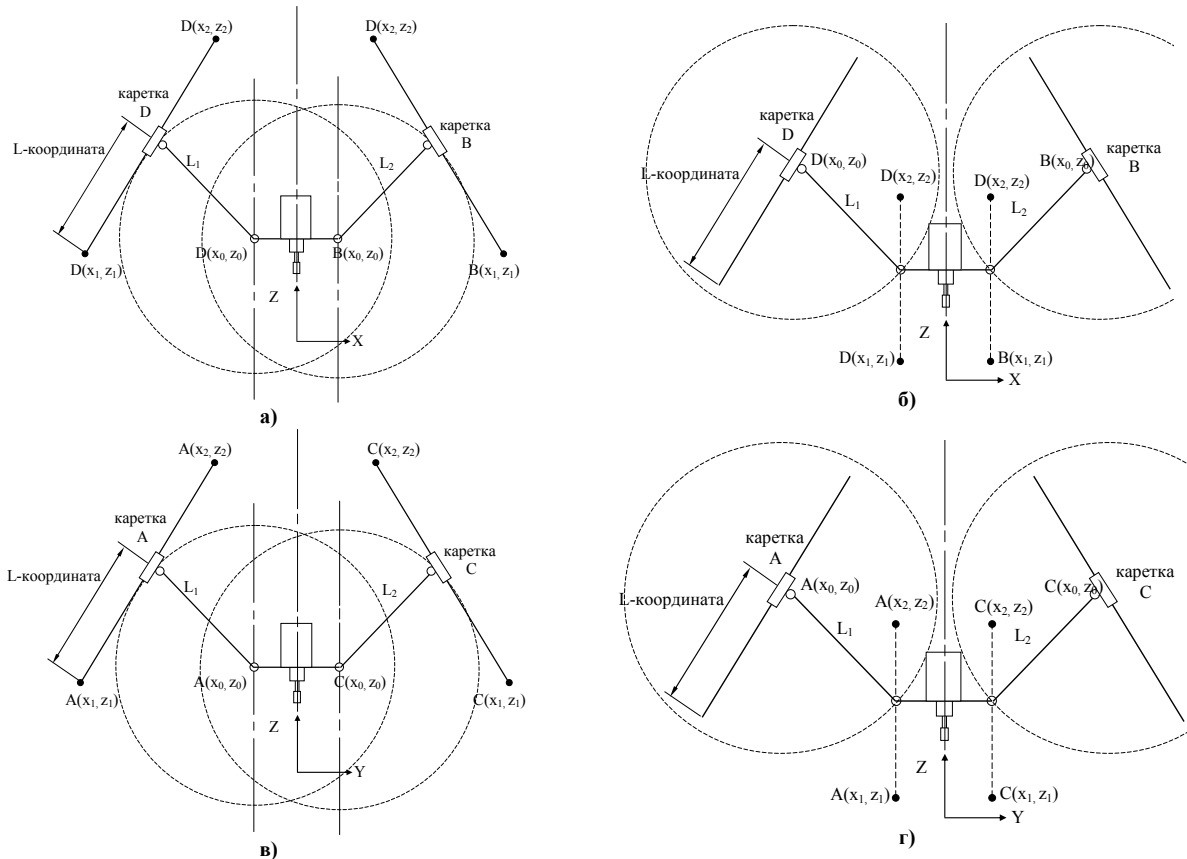


Рис. 1. Схема розкладання МПС на плоскі стрижневі системи з позначеннями змінних при розв’язанні прямої (а), (в) і зворотної (б) і (г) задач кінематики аналітичним методом

Прийнято, що положення ВО існує в робочому просторі, якщо існують дійсні корні x, y, z , що визначає напрямну в просторі, - пряма задана двома точками $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$ і кола радіусом, що дорівнює довжині штанги l з координатами центрів шарнірів на рухомій платформі (x_0, y_0, z_0) ; k – кількість напрямних; i – кількість штанг.

Кінематичні похибки механізмів паралельної структури в першу чергу визначаються похибками в з’єднаннях ланок. Зношування підшипників і похибки збірки з’єднань в першу чергу призводять до похибок довжин ланок, що у розрахунках при плануванні траєкторії руху інструмента щодо оброблюваного виробу, і безпосередньо до похибок при відтворенні руху. Похибки довжин ланок включають температурні розширення, а також похибки їх виготовлення.

Після опускання РО фіксуються фактичні значення переміщення кареток та робочого органу. Система виводиться у початкове положення та реєструється похибка виходу в нуль. Для перевірки адекватності результатів цикл повторюється 50 разів.

Під час проведення експерименту були використані механічні індикатори з ціною поділки 0,01 мм. Для визначення похибки переміщення кареток, індикатори 1,2,3,4 фіксуються на ребрах каркасу, при цьому індикаторна ніжка опирається в циліндричний шарнір. Для визначення похибки позиціонування рухомої платформи індикатор 5 встановлюється на робочому столі опираючись в кінець мотор-шпинделя. На рис. 2 зображено верстат, налаштований для проведення експериментальних досліджень у верхньому положенні.

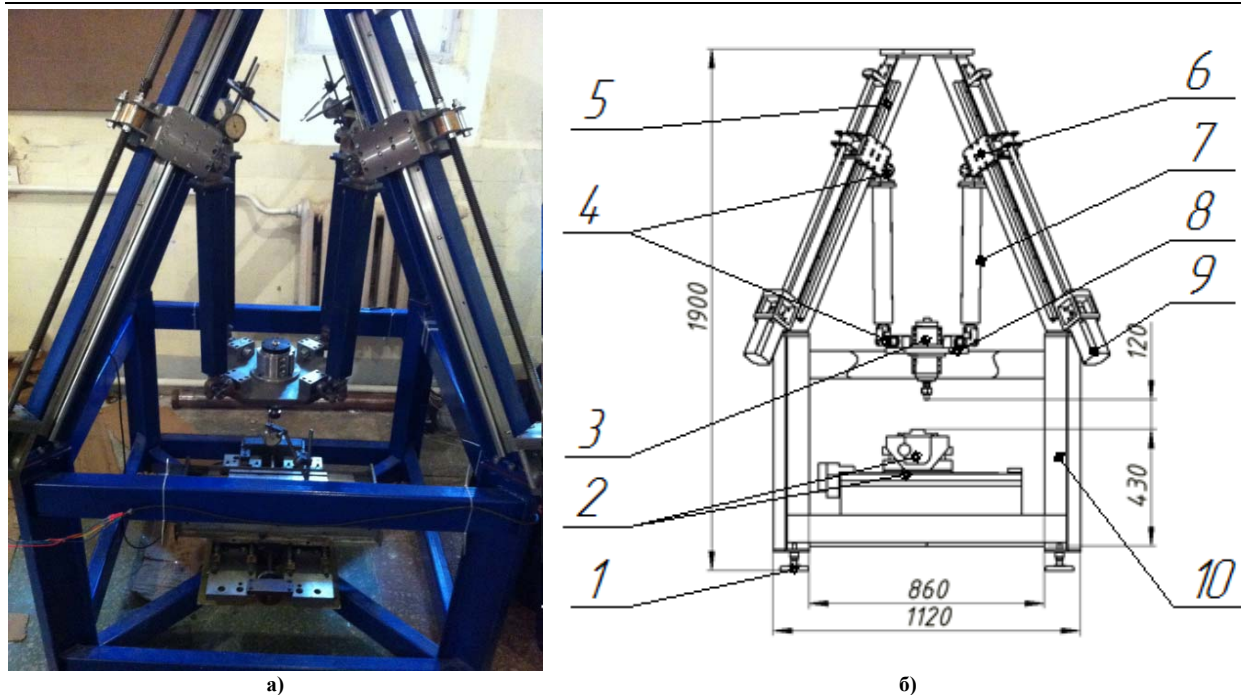


Рис. 2. Свердлильно-фрезерний верстат пірамідальної компоновки: а – фото зі встановленими індикаторами; б – загальний вид – опора 1, хрестовий стіл 2, мотор-шпиндель 3, шарнір 4, напрямна 5, каретка 6, штанга постійної довжини 7, рухома платформа 8, лінійний двигун 9, каркас 10.

Отримано результати вимірювання. На їх основі були побудовані графіки залежності величини похибки від переміщення ВО (рис. 3, 4).

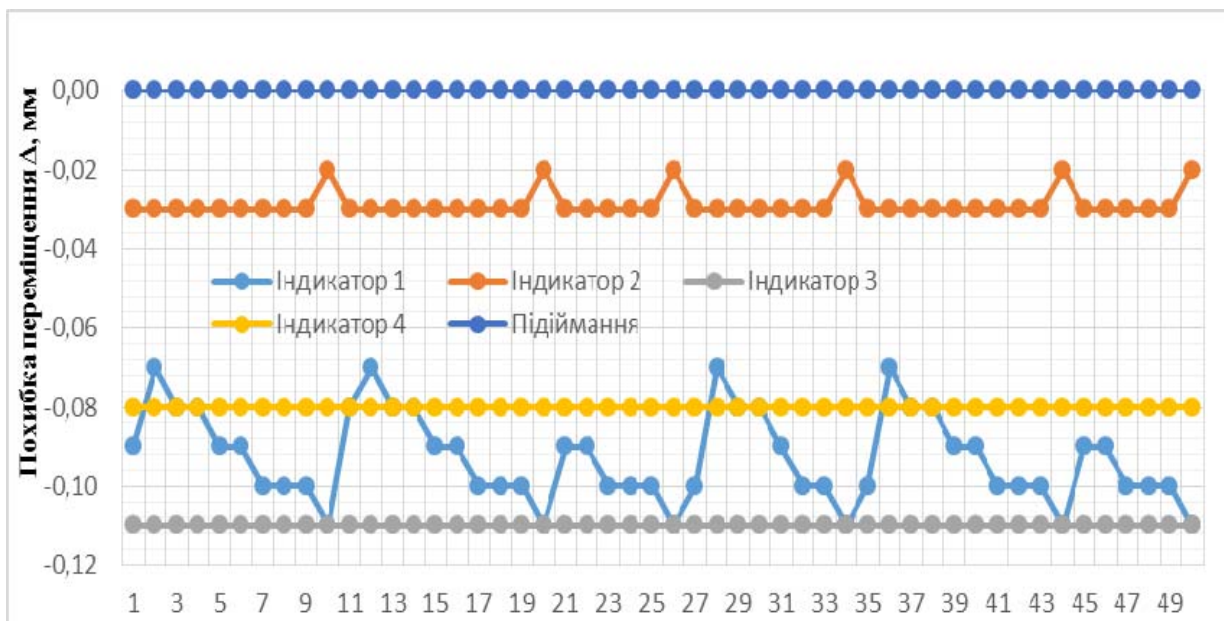


Рис. 3. Результати вимірювання похибки переміщення кареток

Максимальна похибка при опусканні складає $\Delta_{O(\max)} = -0,02$ мм на індикаторі 2, а мінімальна - $\Delta_{O(\min)} = 0,11$ мм в індикаторі 3. Похибка повернення усіх чотирьох кареток у своє вихідне положення (підйом) дорівнює 0.

Актуальним при дослідженні характеристик верстата є врахування динамічного відгуку системи «деталь-інструмент-верстат» в процесі обробки та прогнозування областей динамічної податливості стрижневих систем для забезпечення технологічних операцій [4]. Переважна більшість постпроцесорів в існуючих САМ-програмах розроблені під існуючі верстати та відомі компоновки [3]. При створенні нової компоновки виникає необхідність адаптувати програму керування згідно кінематичної структури і одночасно виконувати аналіз жорсткісних та динамічних характеристик технологічної системи.

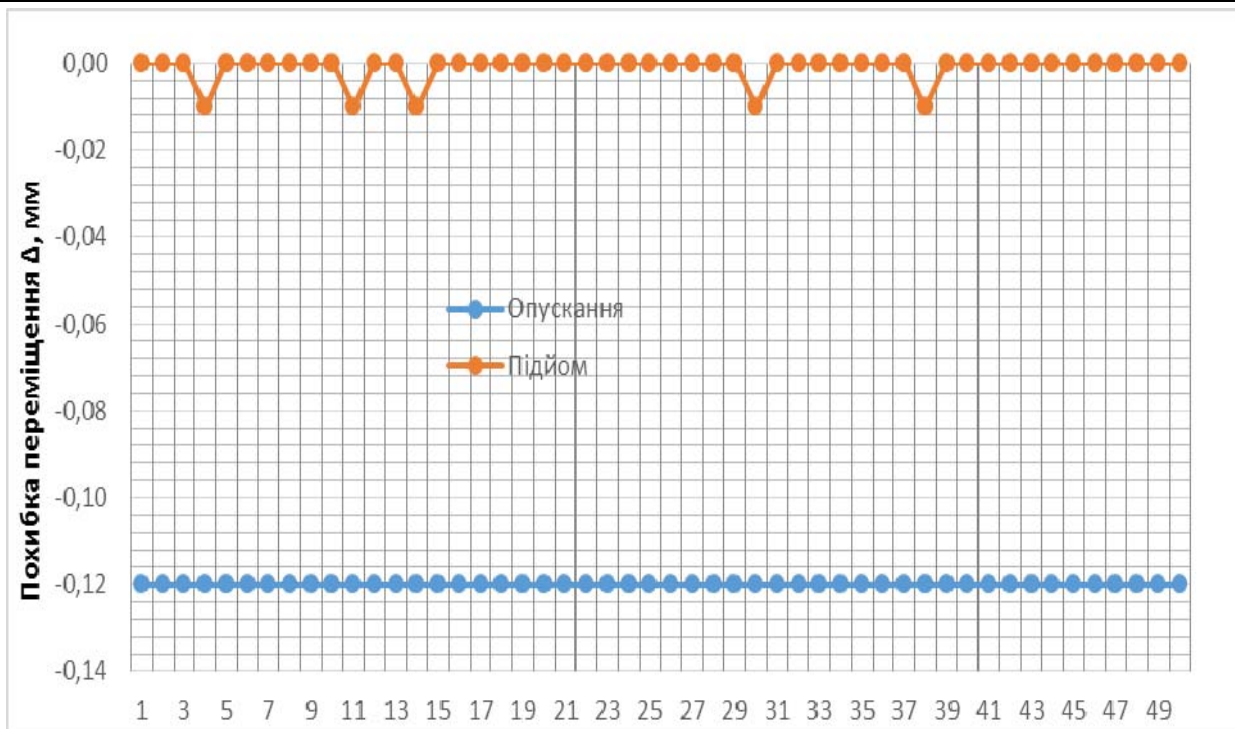


Рис. 4. Результати вимірювання похибки позиціонування РО

Запропоновано комплексний підхід оцінки якості компоновки, який включає: процедури структурно-схемного синтезу в залежності від геометричного образу деталі, що обробляється; математичні і програмні методи розв'язання задач кінематики і управління приводами каркасних компоновок; оцінку пружного стану і динамічного відгуку верстатної системи з МПС в заданих діапазонах роботи обладнання. Отримано математичну модель, яку покладено в основу комп'ютерних програм «Tools Glide» та «Tools Response». В процесі проектування верстатів з МПС дане програмне забезпечення дозволить проаналізувати властивості будь-яких варіантів конструкцій, що проектуються, та зробити вибір конструктивних вузлів, агрегатів та деталей (рис.5).



Рис. 5. Послідовність процедур зовнішнього постпроцесора

Сучасна робота з обладнанням з ЧПК базується на створенні програми обробки деталі, для чого необхідно задати поверхню обробки в САМ-модулі та отримати файл положення інструменту CL-data (cut-location data) [5]. В файлі CL-data наявні координати опорних точок траєкторії обробки з векторами напрямку інструменту. На основі цього файлу комп'ютерна програма «Tools Glide» виконує розв'язання зворотної задачі кінематики та прораховує для кожної координати зі списку CL-data значення координат органів керування верстатів з МПС. «Tools Response» дозволяє отримувати параметри жорсткості, податливості, силові характеристики складних багатоступеневих структур, з розрахунком взаємовпливу

ступенів рухливості, будь-яких наборів вузлів, агрегатів та шарнірів (рис.6). Отримані дані можуть передаватися в модуль аналізу динамічних властивостей «Tools App» [6].

Для побудови параметричної моделі в комп'ютерній програмі «Tools Glide» траєкторію робочого органу та його орієнтацію задають функцією скалярного параметру [6]

$$\mathbf{X} = [x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda), n_x(\lambda), n_y(\lambda), n_z(\lambda)], \quad (3)$$

де (x, y, z) – радіус-вектор відповідного положення, n_x, n_y, n_z – орієнтації робочого органу в глобальній системі координат, λ – шлях, що пройшов робочий орган вздовж траєкторії.

Структура програмних модулів «Tools Glide» та «Tools Response» складається з математичних блоків розрахунку кінематики і жорсткості (податливості) (рис.6). Блок кінематики («Tools Glide») включає можливості формування компоновки glide-обладнання та розрахунками кінематики з підтримкою зворотного зв'язку з модулем відгуку «Tools Response» для врахування роботи шарнірів різних типів. Основні модулі системи включають: модуль роботи з файлами CL-data (MPN) – формування та корегування масиву \mathbf{X} ; модулі розрахунку кінематичних задач (SolvingNuPhi, Rota, Coord Car, Basis, ...) – формується характер осі керування, матриць переходу від попередньої опорної точки до наступної, формування координат кареток тощо.

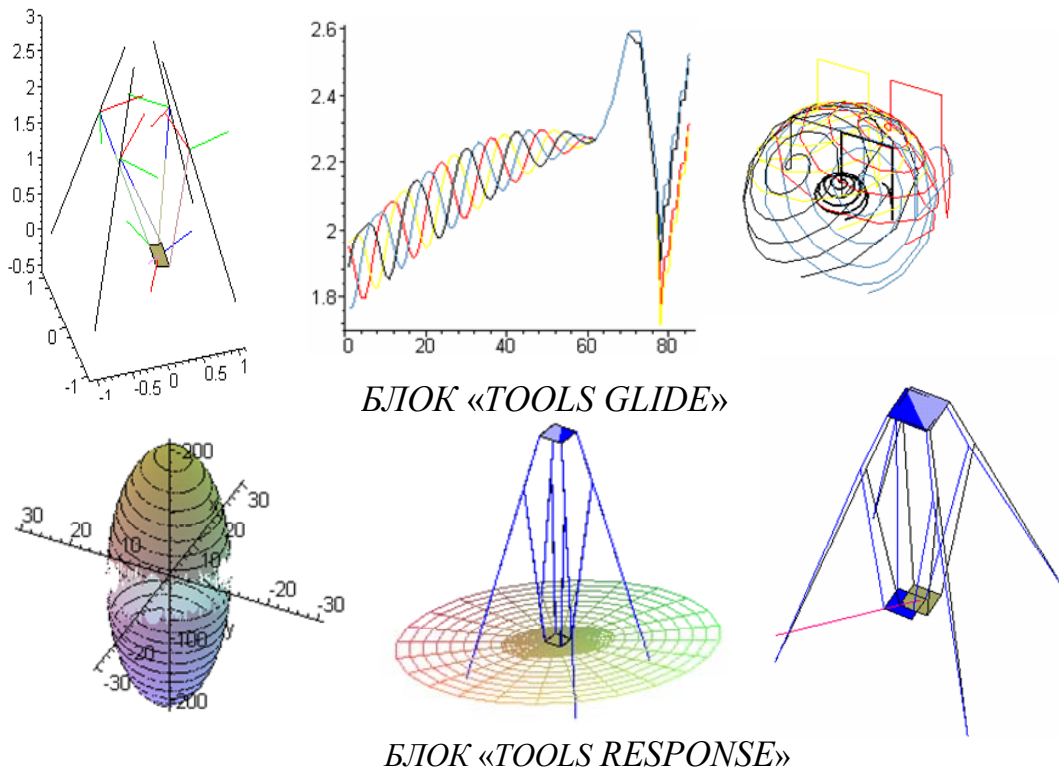


Рис. 6. Проміжні графічні об'єкти блоків «Tools Glide» та «Tools Response»

Блок аналізу податливостей («Tools Response») включає можливості розрахунку відгуку конструкції імпортованої з модуля «Tools Response» за методом скінченних елементів з врахуванням жорсткісних характеристик ланок, типів шарнірів, тощо. Основні модулі системи включають: модулі формування та корегування скінченних елементів (Balance, PhisEqs, ATP, ...) – підтримуються скінченні елементи типу консоль (CONS), балка (BEAM), полігон (ATP), шарніри (Joint), стойки (Bar) та ін.; окрім того процедура ATP враховує кінематичні зв'язки і поведінку абсолютно твердого тіла (rigid body) в просторі; модуль фізики PhisEqs містить закони деформування елементів, розраховує матриці жорсткості компонентів в локальних та глобальних системах координат; модуль рівноваги Balance встановлює балансові закони для усіх об'єктів навантаження; Joint – модуль врахування видів шарнірів по геометрії, кінематиці, зовнішніх силах і моментах, що виникають в шарнірах; Bar – модуль характеристик стойки (попереднє навантаження, орієнтація, рух шарнірів відносно системи координат стойки).

Зворотній зв'язок між модулями (імпорт-експорт) забезпечує можливість врахування взаємного впливу «кінематика – деформаційний відклик конструкції». Ця можливість забезпечує подальше оптимальне прогнозування роботи обладнання для різних компонок.

Отримані дані можуть бути передані в модуль «Tools App» (рис. 7), де властивості технологічної системи описуються функцією динамічної податливості, яка характеризує відгук технологічної системи у вигляді переміщень на задане силове збудження. Для кожної технологічної системи ця залежність різна і може бути визначена окремо, що дозволяє також використовувати програмний продукт на етапі проектування верстатів з МПС [7].

Модель динаміки програми «Tools App» побудовано на основі рівнянь Лагранжа другого роду. Для

n -ступеневого механізму математична модель в лагранжевій формі перетворюється до вигляду [7]:

$$\mathbf{I}(\mathbf{q})\frac{d^2\mathbf{q}}{dt^2} + \mathbf{h}(\mathbf{q}, \frac{d\mathbf{q}}{dt}) = \mathbf{Q} \quad (4)$$

де \mathbf{q} , $\frac{d\mathbf{q}}{dt}$, $\frac{d^2\mathbf{q}}{dt^2}$ – вектори ($n \times 1$) відповідно узагальнених координат, швидкостей та прискорень;

$\mathbf{I}(\mathbf{q})$ - матриця інерції механізму; $\mathbf{h}(\mathbf{q}, \frac{d\mathbf{q}}{dt})$ – вектор ($n \times 1$) відцентрових, коріолісових та дисипативних сил; \mathbf{Q} – вектор ($n \times 1$) узагальнених сил, які прикладені до ланок і шарнірів механізму.

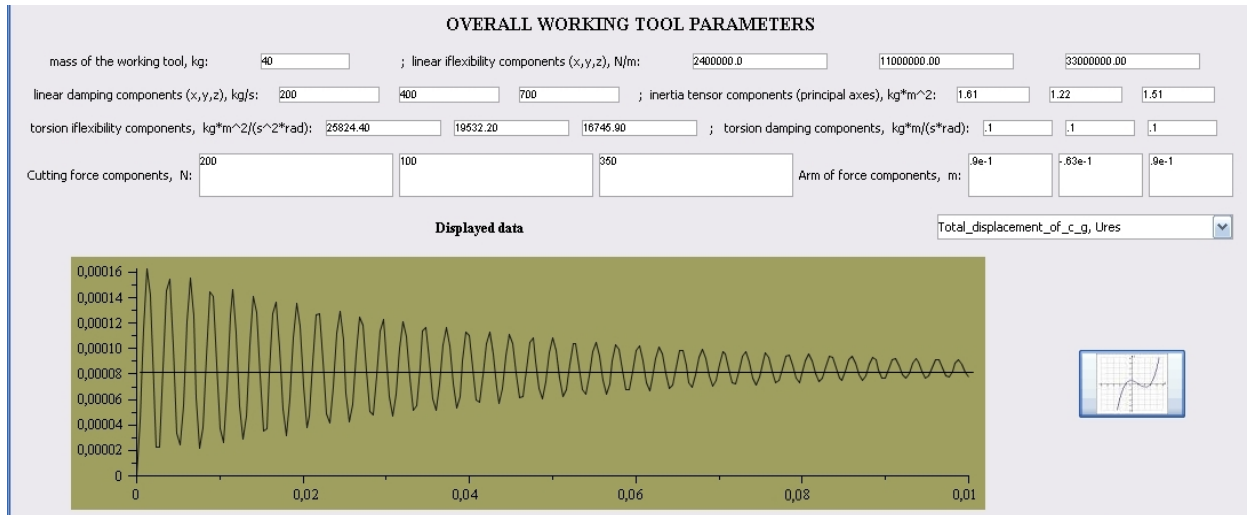


Рис. 7. Визначення часу стабілізації та величини динамічного переміщення стрижневої системи МПС

Висновки. Проведено експериментальне визначення похибок переміщення ВО та рухомих кареток, максимальне значення похибки позиціонування складає 0,11мм. Розроблено програмне забезпечення для кінематичного аналізу і визначення L-координат рухомих кареток, а також модуль динамічного відгуку для визначення жорсткості системи. Таким чином отримано фактично зовнішній постпроцесор для створення програм керування нових компоновок верстатів з МПС з одночасною оцінкою параметрів жорсткості і динамічного відгуку ланок при виконанні технологічних переходів обробки складно профільних поверхонь.

Література

1. Струтинський В.Б. Визначення похибки виходу робочого органу верстата з механізмами паралельної структури в позицію / Струтинський В.Б., Дем'яненко А.С. // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу». — Херсон, 2015.
2. Кириченко А.М. Експериментальне дослідження жорсткості шарнірів робочого органу багатокоординатного верстата паралельної структури «пентод» / Кириченко А.М., Шелепко О.В. // Вісник Херсонського національного технічного університету. — 2015.
3. Петраков Ю. В. Напрями розвитку САМ-систем / Ю. В. Петраков, В. В. Писаренко, О. С. Мацківський // Журнал інженерних наук. – 2015. – Том 2. – № 2 (2015). – С. А7–А13.
4. Залого В. О. Исследование влияния конфигурации технологической системы на ее динамическую податливость / В. О. Залого, Д. В. Криворучко, С. С. Емельяненко // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2011. – № 4. – С. 97–104.
5. Петраков Ю. В. Развитие САМ-систем автоматизованого програмування верстатів із ЧПУ : монографія / Петраков Ю. В. – К. : Січкара, 2011. – 220 с.
6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма « Tools App» – № 57913 від 29.12.2014 / Державна служба інтелектуальної власності.
7. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение / Подураев Ю. В. – М. : Машиностроение, 2006. – 286 с.
8. Кузнецов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури : монографія / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич ; під ред. Ю.М. Кузнецова. – Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.

Рецензія/Peer review : 13.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Клевцов К.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ПЛОСКИХ КІЛЬЦЕВИХ І ФЛАНЦЕВИХ ЗАГОТОВОК

В даній статті проаналізовано особливості локального деформування, які визначають штампування обкочуванням як самостійний вид обробки металів тиском. Наведені приклади найбільш повної реалізації переваг штампування обкочуванням, що забезпечує ефективність промислового використання. В пріоритетних напрямках розвитку науки і техніки особлива роль відводиться енерго- та ресурсозбереженню. Сучасні вітчизняні галузі машинобудування та металообробки, які покликані забезпечити підвищення конкурентоспроможності власної продукції, значною мірою ще базуються на енерго- і металомістких технологічних процесах. Зменшенню енергетичних і матеріальних витрат сприяє розробка та впровадження в металообробку нових процесів обробки металів тиском. Дана обставина визначає пріоритетність розвитку агропромислового виробництва. Розвиток аграрного сектору і необхідність підвищення його ефективності вимагають удосконалення технічного забезпечення.

Ключові слова: штампування обкочуванням, обробка металів тиском, холодне об'ємне штампування, деформування, формоутворення, заготовки, течія металу.

A.A. SHUTS
Vinnytsia National Agrarian University

RESEARCH OF STAMPING PROCESS BY ROLLING-OFF OF PLANE RING AND FLANGED PIECES

This article analyzes the characteristics of the local deformation, which determine the punching creation as a separate type of processing of metals pressure. Examples of the most full realization of the benefits of forging created that ensures efficient industrial use. In the priority directions of development of science and technology is a special role for energy and resource conservation. Modern domestic industry mechanical engineering and metal working, which are designed to improve the competitiveness of its own products, to a large extent still based on energy-intensive industrial processes. Reducing energy and material costs facilitates the development and implementation of new metalworking processes of processing of metals pressure. This determines the priority of the development of agricultural production. The development of the agricultural sector and the need to improve its efficiency is required to improve technical support.

Keywords: rolling-off stamping, metal forming, cold die forging, deformation, forming, blanks, metal flow.

Вступ. В пріоритетних напрямках розвитку науки і техніки особлива роль відводиться енерго- та ресурсозбереженню. Сучасні вітчизняні галузі машинобудування та металообробки, які покликані забезпечити підвищення конкурентоспроможності власної продукції, значною мірою ще базуються на енерго- і металомістких технологічних процесах. Зменшенню енергетичних і матеріальних витрат [1] сприяє розробка та впровадження в металообробку нових процесів обробки металів тиском (ОМТ). Дана обставина визначає пріоритетність розвитку агропромислового виробництва. Розвиток аграрного сектору і необхідність підвищення його ефективності вимагають удосконалення технічного забезпечення.

Підходи, що ґрунтуються на концепції багатостадійних технологічних процесів, все частіше використовуються при моделюванні широкого кола виробничих процесів. Прикладами можуть слугувати процеси хімічного, атомного енергетичного, літако- та автомобілебудування тощо [6].

Викладення основного матеріалу досліджень

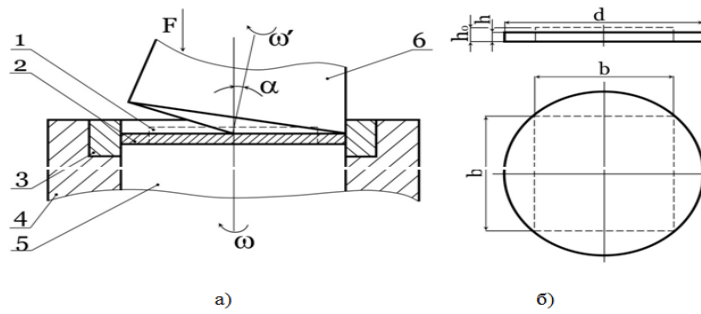
У заготівельному виробництві досить поширеними є круглі плоскі заготовки. Традиційно такі заготовки отримують вирубкою або вирізкою з листа, що супроводжується значними відходами у вигляді перемичок. Тому питання ефективного отримання тонких заготовок під наступні операції ОМД є досить актуальним [1].

Незважаючи на розвиток процесів штампування з поліпшеними умовами контактного тертя [1], основною операцією отримання тонких круглих заготовок залишається їх вирубка з листа. При цьому не завжди задовольняє вимогам якості заготовок через вихідної анізотропії та різновтовщинності листа. При подальшій витяжці виробів з таких заготовок основним фактором, що обмежує технологічні можливості, є руйнування заготовок в найбільш небезпечних локальних зонах. Руйнації передують втрата стійкості деформування або місцеве стоншення заготовки у вигляді шийки, з моменту утворення якої збільшення ступеня витяжки стає неможливим.

Складними при виготовленні є круглі деталі з відносно малою висотою:

$h / d < 0,3$ при діаметрі не більше 300-350 мм. У цьому випадку потрібно пресове обладнання гарячого штампування великої потужності і високої жорсткості, а для виготовлення штампного оснащення потрібні високолеговані дорогі сталі. У зв'язку з цим в статті розглянуто технологічний процес штампування обкочуванням (ШО) плоских кільцевих і фланцевих заготовок.

ШО дозволяє отримувати заготовки необхідної форми шляхом їх переформування з квадратних, круглих і кільцевих. Відповідно до запропонованої технології лист безвідходно розрізається на квадратні заготовки, які переформують методом ШО (рис. 1) в круглі плоскі або з необхідним по товщині профілем. Таким чином, переформування заготовки здійснюється за схемою осадки методом ШО.



1 - заготовка, 2 - виріб, 3 - матриця, 4 - шпиндель, 5 - виштовхувач, 6 - валок

Рис. 1. Схема переформування заготовок методом ШО (а), вид вихідної квадратної і розкатої круглої заготовки (б)

У разі переформування заготовок методом ШО практично виключається можливість управляти інтенсивністю і напрямком течії металу шляхом зміщення валка, оскільки через застосування матриці-калібру неможливо забезпечити зміщення вершина валка. У разі переважним є відцентрове протягування металу. При цьому максимальна інтенсивність перебігу спостерігається на відстані $r < 0,2R$.

Схему налагоджування, показано на рис. 2 згідно класифікації процесів штампування обкочуванням [4] слід віднести до першої групи - безвідходного виробництва плоских заготовок.

При течії металу в різних осьових напрямках заготовки спостерігаються три стадії формоутворення

На першій стадії відбувається інтенсивний перерозподіл обсягу металу [2] (у зворотному напрямку від прикладеного зусилля P) і радіальному (по лінії Г-Г) напрямках (рис. 3). У тангенціальному напрямку перерозподіл обсягу металу уповільнено, що підтверджується різницею величин a_i і b_i (рис. 4). Опір деформації по всьому об'єму деталі також різний, по поверхні взаємодії вихідної заготовки з пуансоном I, зовнішні шари переміщуються інтенсивніше внутрішніх шарів внаслідок великого тертя вихідної заготовки по поверхні взаємодії її з матрицею II (це очевидно при розгляді площі контакту інструменту з вихідною заготовкою).

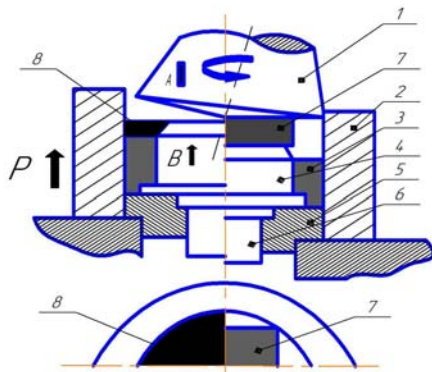


Рис. 2. Схема налагоджування для штампування обкочуванням фланцевих деталей та заготовок: 1 - пуансон; 2 - контейнер; 3,4- матриця; 5 - кільце; 6 - виштовхувач; 7 - вихідна заготовка; 8 - готова деталь

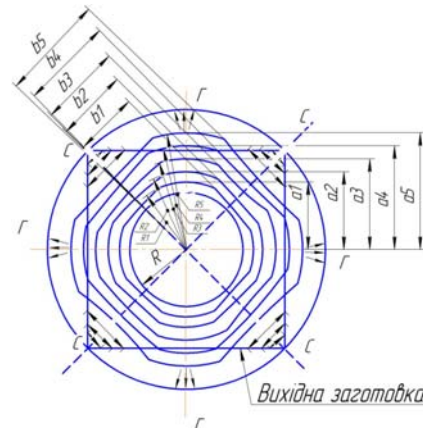


Рис. 3. Схема течії металу в фланцевій частині деталі при штампуванні обкочуванням з кільцевої заготовки. Г - Г - лінія переобладнення радіальної течії металу С - С - лінія переобладнення тангенціального течії металу

У результаті цього з'являються додаткові навантаження: на зовнішній стискаючій, поверхні, так як кожен внутрішній шар стримує рух сусіднього зовнішнього, а у внутрішніх - розтяжні, оскільки кожен зовнішній шар, рухаючись швидше сусіднього, захоплює його за собою.

У результаті вирівнювання навантаження виникає зона внутрішніх шарів з додатковим радіальним навантаженням, збільшується до зовнішньої поверхні. Підтвердженням того, що поверхневі шари металу переміщуються інтенсивніше нижніх шарів, служить розгляд перетину заготовки в першій стадії процесу (рис. 4).

Початок другої стадії процесу визначається в момент зіткнення вихідної заготовки з матрицею по поверхні III. Переміщення обсягу металу хоча і не змінює свого характеру по відношенню до першої стадії, але відбувається при зростаючому опорі деформування, що пояснюється інтенсивним формуванням нижньої частини заготовки. У напрямках по лінії Г-Г радіальна течія металу збільшується, і в момент заповнення зовнішнього діаметра контейнера змінює свій напрямок, в той же час у напрямку по лінії С-С переважає тангенціальна течія металу і в момент зміни напрямку течії металу по Г-Г створюється підвищений гідростатичний тиск, збільшення якого визначає заповнення нижньої частини фланця [3].

Характерною особливістю перших двох стадій формоутворення є наявність внутрішніх кільцевих сходинок при сформованому початкової і кінцевої стадії процесу, а різниця висоти $H_2 - H_1 = S$ дає значення

подачі на один цикл обкочування.

Утворення прямих ділянок на лінії С-С є наслідком, спотворення утворює кільця за рахунок підпору в точці дотику заготовки з напрямком діагоналі.

Третьою стадією процесу є калібрування полотна і внутрішнього діаметра заготовки. Процес відбувається без значного зростання зусилля деформування [2].

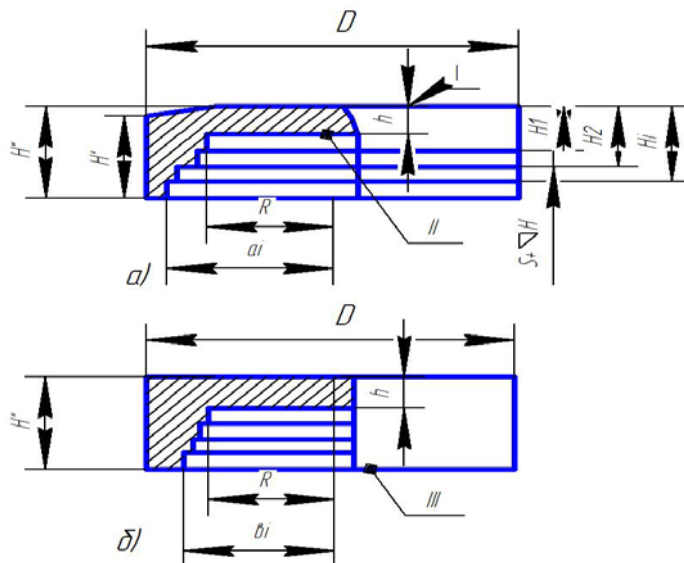


Рис. 4. Переріз заготовки стадії процесу: а) – по площині Г-Г б) – по площині С-С

У стадії аналізу дослідження запропоновано пристрій виготовлення заготовок та деталей методом штампування обкочуванням [5].

Пристрій для здійснення способу містить матрицю 1, обкочувальний пуансон 2 і виштовхувач 3. Пуансон 2 отримує обкочувальний рух від спеціального приводу. Матриця 1 і виштовхувач 2 змонтовані на столі преса і можуть від своїх приводів переміщатися у вертикальному напрямку.

Дослідження отриманих виробів по точності відповідають 10-11 квалітету, шорсткість поверхні становлять 3,2 мкм [3].

Таблиця 1

Розміри і параметри процесу штампування обкочуванням кільцевих і фланцевих заготовок

№ п/п	Найменування параметрів	Позначення	Одиниця вимірювання	Параметри
1	Діагональ вихідної заготовки	$L_{\text{діаг}}$	мм	186 ± 240
2	Товщина вихідної заготовки	$H_{\text{заг}}$	мм	16
3	Кут нахилу осі пуансона	θ	(градус)	2
4	Осьова подача інструмента	S	мм/обк	1,7
5	Температура нагріву	T	°C	740
6	Максимальне зусилля штампа	P	кН	2300

Розрахунок заготовки при штампуванні обкочуванням

1. Вихідні умови (рис. 5):

$$\begin{aligned} C &= D, \\ V_d &= V_3, \end{aligned} \quad (1)$$

де C – діагональ заготовки;
D – зовнішній діаметр деталі;
 V_d, V_3 – обсяг деталі і заготовки.

2. Інтервали варіювання:

$$\begin{aligned} D_1/D &= 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; \\ H_d &= 3,5; 10; 12; 14; 16; 20; \\ h &= 0; 1,5; 4 \end{aligned}$$

де D_1 – внутрішній діаметр деталі;
 H_d – висота деталі;
h – товщина перемички.

3. Висновки розрахункових формул:

$$V_d = (\pi D^2 H - \pi D_1^2 H_1)/4, \quad (2)$$

$$V_3 = a^2 H_3, \quad (3)$$

де a – сторона заготовки

$$a = (C / \sqrt{2})^2 \quad (4)$$

але $C = D$, тоді

$$a = (D / \sqrt{2})^2, \quad (5)$$

З формули (1.3) знаходимо

$$H_3 = V_3 / a^2, \quad (6)$$

Але V_3 по умові (1.1) дорівнює V_d .

Після перетворення (1.6) отримаємо вихідну формулу для розрахунку висоти заготовки

$$H_3 = 1,57 (H_d - B^2 H_1), \quad (7)$$

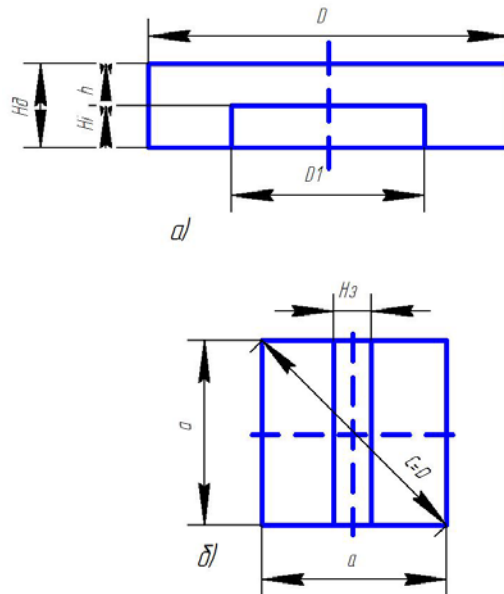


Рис. 5. Розміри готової деталі (а) і вихідної заготовки (б)

Висновки

Запровадження нових методів штампування обкочуванням у виробництво забезпечує збільшення коефіцієнта використання металу до 0,8 і зменшення трудомісткості обробки на 30–35%.

При штампуванні обкочуванням точність розмірів виробів залежить від точності розмірів інструменту та схеми деформування. В основному при штампуванні обкочуванням забезпечується точність обробки по 8–11 квалітету, а шорсткість поверхні становлять 3,2 мкм.

Можливість використання обладнання малої потужності методом штампування обкочуванням, дозволить ефективно використовувати дані процеси у малосерійному та багатосерійному виробництві.

Література

1. Матвийчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов : монография / В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 268 с.
2. Гожій С.П. Штампування обкочуванням як засіб ресурсозбереження / С.П. Гожій, Л.Т. Кривда // Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2006. – № 2(46). – С. 55–60.
3. Matviychuk V. A. Development of technological process of flanges upsetting on tubular billets by face rolling / V. A. Matviychuk, L. I. Aliyeva // Produkcyja i Zarzadzanie w Hutnictwie. XIV Miedzynarodowa Konferencya Naukowo-Techniczna, Politechnika Czestochowska. Szczyryk 28 czerwca – 1 lipca 2006. – S. 132–136.
4. Корякин Н.А. Штамповка обкатыванием / Н.А. Корякин, В.А. Лебедев. – М. : ЦНИИ информации, 1987.
5. Патент RV №2040999, Кл. B21D37/12. Способ изготовления изделий / Корякин Н.А., Сурков В.А., Глухов В.П., Хоменко А.А. – заяв. 29.06.92., опубл. 09.08.95. Бюл. № 22.
6. Лисогор В. М. Моделювання дії операторів багатостадійних технологічних процесів є людино-машинним управлінням АПК / В.М. Лисогор, А. А. Штуць, Я. Г. Бородянець, Ю. А. Шулле // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2 (211). – С. 223.226.

Рецензія/Peer review : 4.4.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф., Стаднік М.І.

УДК 539.3:[687+685.34]

О.А. ДОРОФЄЄВ, О.П. ТЕРЕЩЕНКО

Хмельницький національний університет

ВПЛИВ УДАРУ НА КІНЕМАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН ШВЕЙНОГО ТА ВЗУТТЄВОГО ВИРОБНИЦТВА

Розглянуто можливості врахування удару в елементах приводу та в робочих органах машин швейного та взуттєвого виробництва. Використовуючи загальні теореми динаміки, можна визначити миттєві значення кінематичних та динамічних характеристик саме в момент удару.

Ключові слова: удар, ударна сила, кутова швидкість, імпульс ударної сили.

О.А. DOROFEYEV, O.P. TERESHCHENKO

Khmelnytskyi National University

THE INFLUENCE OF A STRIKE ON KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE MACHINES IN SEWING AND SHOE INDUSTRIES

The possibilities of taking into account the strike in the elements of the gear in the working bodies of machines in sewing and shoe industries are described. The author considers light industry machines in which there is a sharp tension belt; rotation to the main shaft is transmitted by coupling; striking element contacts with the cam. In some elements of these machines there are sudden loads, which can lead to the destruction of both the item and the entire machine. Design of machine elements working to strike has its peculiarities. In the calculations it is necessary to consider only the strike forces and the pulses of strike force. Impulses of all other forces are neglected. Using the general theorems of dynamics, we can determine the instantaneous cinematic and dynamic characteristics at the moment of a strike.

This allows a more realistic assessment of the effort and pressure that occur in the elements of mechanisms that are affected by a strike.

Keywords: a strike, strike force, angular velocity, impulses of a strike force, sewing industry.

Вступ

Серед явищ, котрі вивчаються в динаміці механічних систем, можна виділити дві крайні області. Перша з них охоплює явища, котрі відбуваються з доволі малими прискореннями. Якщо знехтувати цими прискореннями та відповідними динамічними ефектами, то вона зводиться до задач статички. До другої області відносяться короткочасні стани, які характеризуються доволі значними (навіть нескінченно великими) прискореннями; це – ударні явища, котрі пов'язані з виникненням короткочасних, доволі великих, «ударних» сил.

Найбільш складні задачі про удар виникають перед інженерами-машинобудівниками, які мають справу з явищами, що виникають при співударянні вузлів або деталей машин; тут заздалегідь невідомі ні сили, які виникають при цьому, ні кінематичні ефекти, що ними викликаються.

Зовнішня різноманітність явищ удару не може затулити їхні типові риси:

з кінематичної сторони – швидкоплинність акту удару, за малий час якого відбуваються різкі змінення швидкостей, але лише малі змінення координат;

з динамічної сторони – виникнення, а потім зникнення доволі великих ударних сил.

Постановка задачі досліджень

Метою описаних в статті досліджень є врахування удару, який виникає під час роботи деяких елементів машин швейного та взуттєвого виробництва, при проектуванні цих елементів.

Ударні явища можуть бути явного типу, коли сумніватися в їх ударному характері немає підстав (кування, штампування, забивання паль, дроблення кам'яних матеріалів тощо). Проте, поряд з такими явищами удару в техніці існують явища більш складного характеру, пов'язані, наприклад, з миттєвою зміною траєкторії або характеру руху точки або тіла, миттєвим перетворенням типів руху (поступального, обертального, плоского та ін..).

Серед різних випадків ударної взаємодії тіл виділимо випадок, коли система зазнає удару або при миттєвій зупинці привідного колеса 2, або при його різкому розгоні (рис. 1). Ця зміна кінематичних та динамічних характеристик може відбуватись як при прямому контакті коліс (рис. 1, а) (нр., зубчаста, фрикційна передача), так і за допомогою пасової або ланцюговою передачею (рис. 1, б).

Такі випадки ударів виникають, зокрема, в елементах приводу швейного та взуттєвого устаткування у разі залежності робочого циклу від включення та виключення електродвигуна.

В деяких машинах легкої промисловості (нр., типу ЗВ, ВБ) передача крутного моменту від постійно працюючого електродвигуна на робочий вал передається включенням муфти (нр., в машині ЗВ-1 це кулачкова муфта з клиновим вимикачем). В цьому випадку так само відбувається удар.

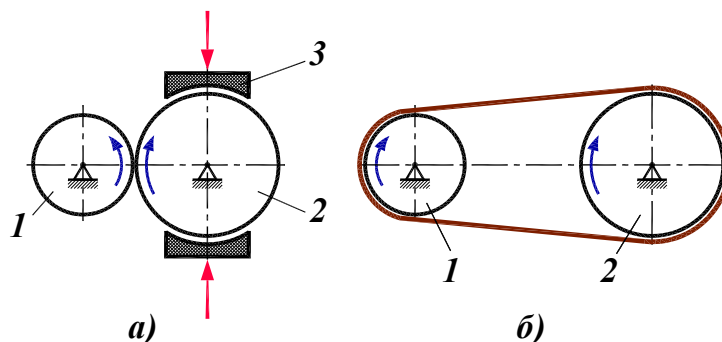


Рис. 1. Випадок удару, що виникає при різкому або гальмуванні, або розгоні ведучого колеса: 1 – ведуче колесо; 2 – ведене колесо; 3 – гальма

Змінення швидкостей точок при ударі на скінчені величини пов'язане з великими прискореннями та великими ударними силами. На рис. 2 показано графік залежності ударної сили F від часу t .

Ударні сили F мають пікоподібний характер зміни. За короткий період часу удару $\tau = t_2 - t_1$ вони набувають дуже великих значень, в десятки й сотні разів більших за статичні не ударні сили (сили ваги, статичні реакції тощо), а потім різко зменшуються до нуля в кінці удару.

Ударні сили виникають також в робочих механізмах багатьох типів машин, що розглядаються (нр., молоткові механізми) (рис. 3). Молоток 1 в затягувальній машині ЗВ-1 (ЗВ-2) забиває цвях в затяжний пруг устілки. Він закріплений в молотковій штанзі 2. Рух

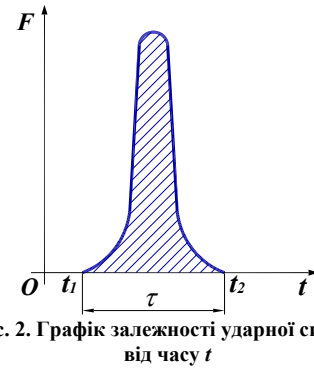


Рис. 2. Графік залежності ударної сили F від часу t

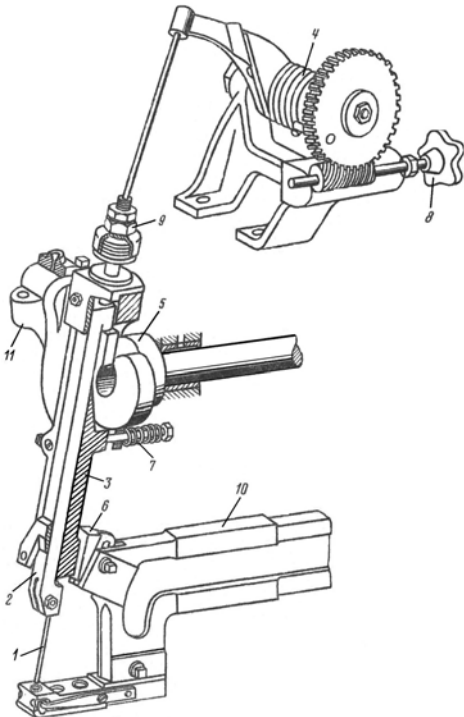


Рис. 3. Молотковий механізм машини ЗВ

штанги з молотком донизу відбувається під впливом пружини 4, а догори – від кулачка 5, котрий закріплений на головному валу.

Оскільки частина енергії удару «вертається» в ударний механізм, то при розрахунках елементів машин, які знаходяться під впливом ударних навантажень, важливо їх враховувати.

При проведенні таких розрахунків врахуємо, що удар – це швидкоплинне явище. Такий підхід дозволяє визначати удар як сукупність явищ, пов'язаних з різкою зміною швидкостей точок механічної системи, які відбуваються за такий короткий час, що, порівняно з імпульсами сил, котрі виникають під час удару, можна нехтувати імпульсами всіх інших сил.

Розглянемо машини, в яких робочий цикл обмежується включенням/виключенням електродвигуна. Тобто, у цьому випадку передача крутного моменту на головний вал відбувається за допомогою пасової передачі.

Оскільки передача зусиль пасовою передачею відбувається завдяки силам тертя, котрі виникають між поверхнями паса та шківів, то навіть при відсутності обертання або при холостому ході існують сили початкового натягу. З прикладанням до шківа крутного моменту ведуча гілка додатково натягується, а натяг веденої зменшується. Звісно, що така циклічна зміна зусиль у гілках паса впливає і на розрахунок і на роботу вала.

Розглянемо випадок коли два шківів обертаються в одній площині навколо осей з кутовими швидкостями ω_{10} та ω_{20} (рис. 4). Спочатку визначимо як зміняться кутові швидкості після того, як на шківів буде накинута пас (нр., у швейних машинах 95

класу та ін.). Радіуси шківів позначимо через R_1 і R_2 ; проскальзування паса нехтуємо.

Для розв'язання даної задачі використаємо теорему про зміну головного моменту кількості руху системи матеріальних точок стосовно миттєвих сил. Таким чином ми врахуємо ефект удару, що відбувається в момент накидання паса на шківів.

Отже, геометричний приріст головного моменту кількості руху системи впродовж доволі короткого проміжку часу впливу миттєвих (ударних) сил дорівнює геометричній сумі моментів імпульсів всіх зовнішніх миттєвих сил (ударів). Оскільки в нашому випадку мова йде про обертання твердого тіла (шківів) навколо нерухомої осі, то відповідне рівняння в проекції на вісь обертання z отримаємо у такому вигляді

$$K_{z_1} - K_{z_0} = \sum_{k=1}^n M_z(\vec{S}_k), \quad (1)$$

або

$$I_z(\omega_1 - \omega_0) = \sum_{k=1}^n M_z(\vec{S}_k), \quad (2)$$

де K_{z_1} , K_{z_0} – проекція головного моменту кількості руху системи в проекції на вісь обертання z в моменти часу t і t_0 відповідно;

$\sum_{k=1}^n M_z(\vec{S}_k)$ – сума моментів імпульсів зовнішніх миттєвих сил \vec{F}_k відносно осі z ;

I_z – момент інерції тіла відносно осі обертання;

ω_1 , ω_0 – кутові швидкості в моменти часу t і t_0 .

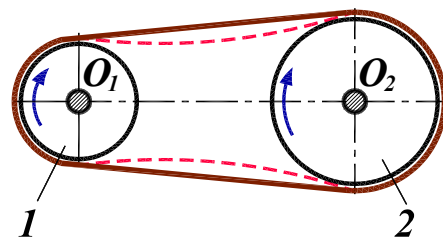


Рис. 4. Пасова передача

Відзначимо, що під час удару виникають й миттєві сили реакцій в підшипниках, але рівняння (1) і (2) імпульси цих сил не входять, оскільки лінії дії цих реакцій перетинають вісь обертання z , отже, їхні моменти відносно цієї осі дорівнюють нулю.

Нехай шків 1 буде ведучим (рис. 4). Застосовуючи формулу (2) до його обертання, маємо

$$I_1(\omega_1 - \omega_{10}) = SR_1, \quad (3)$$

де S – імпульс миттєвої сили натягу паса.

Шків 2 є веденим і для нього отримуємо –

$$I_2(\omega_2 - \omega_{20}) = -SR_2. \quad (4)$$

Знак «мінус» враховує різний вплив сили натягу паса на обидва шківів.

Оскільки проковзування паса ми нехтуємо, то кутові швидкості на обох шківів дорівнюють лінійній швидкості будь-якої точки, що належить пасу. Звідси робимо висновок, що $\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2$, або запишемо у такому вигляді

$$\frac{\omega_1}{R_2} = \frac{\omega_2}{R_1}. \quad (5)$$

Визначаючи імпульс S з рівнянь (3) і (4), отримуємо

$$S = \frac{I_1\omega_1 - I_1\omega_{10}}{R_1} = \frac{I_2\omega_{20} - I_2\omega_2}{R_2}.$$

Звідси, враховуючи тотожність (5), отримуємо

$$\frac{\omega_1}{R_2} = \frac{\omega_2}{R_1} = \frac{I_1\omega_{10}R_2 + I_2\omega_{20}R_1}{I_1R_2^2 + I_2R_1^2}. \quad (6)$$

У випадку, коли ведений шків на початку робочого циклу знаходиться у спокої ($\omega_{20} = 0$), отримане рівняння спрощується –

$$\frac{\omega_1}{R_2} = \frac{\omega_2}{R_1} = \frac{I_1\omega_{10}R_2}{I_1R_2^2 + I_2R_1^2}. \quad (7)$$

За допомогою отриманої формули можна визначити миттєве змінення кутової швидкості в момент пуску як ведучого валу (електродвигуна), так і веденого (головного) валу. Також вона дозволяє, враховуючи

що $S_k = \int_{t_0}^t F_k dt$, обчислювати миттєвий натяг паса.

Існує ряд машин (затягувальні машини ЗВ, машини ВБ для вставки та закріплення блоків та інші), в яких передача крутного моменту зі шківів на головний вал передається включенням муфти.

В цьому випадку доцільно використовувати теорему про збереження моменту кількості руху (кінетичного моменту), оскільки на задану систему діють тільки внутрішні сили, отже, сума моментів всіх зовнішніх сил відносно осі обертання системи дорівнюватиме нулю

$$\frac{dK_z}{dt} = 0, \quad (8)$$

або

$$K_z = \text{const} \text{ і } K_{z_0} = K_{z_1}. \quad (9)$$

Тобто, кінетичний момент системи перед включенням муфти K_{z_0} дорівнює кінетичному моменту системи після включення муфти K_{z_1} . K_{z_0} дорівнює моменту кількості руху веденого шківів приводу (враховуючи, що головний вал знаходиться у спокої), а K_{z_1} складається з суми кінетичних моментів як веденого шківів приводу, так й головного валу:

$$\begin{aligned} K_{z_0} &= I_2\omega_2; \\ K_{z_1} &= (I_2 + I_3)\omega, \end{aligned} \quad (10)$$

де I_2, I_3 – моменти інерції веденого шківів приводу та головного валу відповідно;

ω_2, ω – кутові швидкості окремо веденого шківів та веденого шківів з головним валом відповідно.

Отримуємо тотожність

$$I_2\omega_2 = (I_2 + I_3)\omega, \quad (11)$$

з якої визначається миттєва кутова швидкість головного валу ω в момент включення муфти

$$\omega = \frac{I_2}{I_2 + I_3} \omega_2. \quad (12)$$

Розглянемо вплив удару на робочі елементи машин швейного та взуттєвого виробництва (див. рис. 3). Молоткові механізми призначені для забивання цвяхів, шпильок, дужок та блочків. Звичайно, що частина роботи, котра здійснюється при ударі, йде на забиття елемента взуття або одягу, а частина роботи, що не використовується при ударі, сприймається прокладками та обмежувальною гайкою на молотковій штанзі 2, що викликає великі інерційні навантаження на деталі механізму, котрі можуть викликати руйнування штанги.

Молотковий механізм, що розглянутий вище (див. рис. 3), можна представити у вигляді розрахункової схеми, яка підходить й для інших подібних ударних механізмів (рис. 5).

Нехай шестерня (кулачок) спричиняє рух молотка (пробійника, молота та ін.) (рис. 5). Кутову швидкість шестерні до удару позначимо через ω_{10} . Вважаючи удар не пружним, визначимо змінення кутової швидкості шестерні $\omega_1 - \omega_{10}$, швидкість v молотка після удару та його реакцію H .

Знову таки скористаємось виразом для приросту головного моменту кількості руху системи впродовж доволі короткого проміжку часу (2).

До шестерні впродовж цього малого проміжку часу дії удару прикладені миттєвий імпульс реакції молотка H та миттєвий імпульс реакції осі, лінія дії якої перетинає вісь (отже імпульс реакції дорівнює нулю).

Згідно рівняння (2), отримаємо

$$I(\omega_1 - \omega_{10}) = -Hr, \quad (13)$$

де I – момент інерції шестерні відносно осі обертання, дорівнює

$$I = \frac{G_1 \rho_1^2}{g} \quad (G_1 - \text{вага, } \rho_1 - \text{радіус інерції шестерні}).$$

Застосовуючи теорему імпульсів до теорії удару, для молотка отримаємо

$$\frac{G_2}{g} v = H, \quad (14)$$

де G_2 – вага молотка;

v – його швидкість після удару (початкова швидкість молотка дорівнює нулю).

Оскільки удар не пружний, то швидкість v молотка дорівнюватиме кутовій швидкості точки контакту молотка зі шестернею

$$v = r\omega_1. \quad (15)$$

Обробляючи рівняння (13)–(15), отримаємо шукані величини:

$$\omega_1 = \frac{\omega_{10}}{1 + \frac{G_2}{G_1} \left(\frac{r}{\rho_1}\right)^2}; \quad (16)$$

$$v = \frac{r\omega_{10}}{1 + \frac{G_2}{G_1} \left(\frac{r}{\rho_1}\right)^2}; \quad (17)$$

$$H = \frac{G_2}{g} \cdot \frac{r\omega_{10}}{1 + \frac{G_2}{G_1} \left(\frac{r}{\rho_1}\right)^2}. \quad (18)$$

Висновки

В статті авторами досліджено вплив удару на елементи робочих та приводних механізмів машин швейного та взуттєвого виробництва. Це досягається шляхом використання загальних теорем динаміки механічної системи до розрахункових схем, що відповідають окремим механізмам вказаних машин. Завдяки цьому можна більш реально оцінити зусилля та навантаження, котрі виникають в елементах механізмів, що знаходяться під впливом удару.

Література

1. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики : у 3 т. Т. 1: Динамика / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – Ленинград, Москва : Главная редакция технико-теоретической литературы, 1938. – 467 с.
2. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара / Я.Г. Пановко, – М. : Наука, 1977. – 224 с.

Рецензія/Peer review : 5.2.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Ковтун В.В.

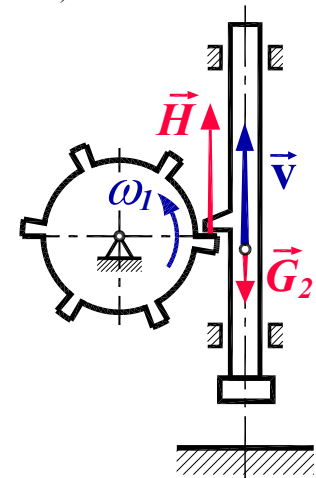


Рис. 5. Схема ударного механізму

УДК 621.9.048.6

АЛЬ-ЯФАЇ-НАСР

Хмельницький національний університет

В.П. МІСЯЦЬ

Київський національний університет технологій та дизайну

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ ВЗУТТЄВИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ДІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ НА ЛЕЗО НОЖА

Представлено опис виконання і результати експериментальних досліджень технологічних процесів різання взуттєвих матеріалів під час дії ультразвукових коливань на лезо ножа. Експериментальні дослідження базуються на теорії планування експерименту, використанні оригінальної експериментальної установки, сучасних методів вимірювання, реєстрації та статистичної обробки результатів. Вперше отримано експериментальні дані про вплив амплітуди і частоти ультразвукових коливань різального інструменту на силові показники процесів різання взуттєвих матеріалів. Виконані експериментальні дослідження дають можливість реалізації технологічних процесів ультразвукового різання взуттєвих матеріалів за умов значного зменшення зусиль опору.

Ключові слова: ніж, різання, шкіра натуральна, ультразвук, механічні коливання, амплітуда, частота, швидкість різання, сила різання, рівняння регресії.

ALI-JAFAI NASR

Khmelnitsky National University

V.P. MISIATS

Kyiv National University of Technologies and Design

EXPERIMENTAL RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CUTTING SHOE MATERIALS UNDER THE INFLUENCE OF ULTRASONIC VIBRATIONS ON THE BLADE OF THE KNIFE

Presents a description of the performance and results of experimental research of technological processes of cutting shoe materials under the influence of ultrasonic vibrations on the blade of the knife. The experimental research based on the theory of planning the experiment, using the original experimental installation, modern methods of measurement, registration and statistical results. For the first time obtained experimental data on the influence of amplitude and frequency of vibration of ultrasonic cutting tool on the power indicators of the processes of cutting shoe materials. Made experimental research allow the realization of technological processes of ultrasonic cutting shoe materials under conditions of significant reduction efforts prop.

Keywords: knife, cutting, leather, ultrasound, mechanical vibration, amplitude, frequency, speed, cutting, cutting, regression equation.

Об'єктом дослідження є процес механічного різання матеріалів з пружно-в'язкими властивостями, вживаних для виготовлення взуття і шкіргалантерейних виробів при коливанні інструменту з ультразвуковою частотою. **Предметом дослідження** є технологічні операції з використанням розкрою матеріалів на деталі плоским ножом при його коливанні з ультразвуковою частотою.

Мета – експериментально визначити вплив технологічних параметрів ультразвукової системи (частота і амплітуда коливань інструменту) на силові показники процесів різання взуттєвих матеріалів.

Ультразвукове різання в останні роки стає поширеним в різних галузях машинобудування, хімічної, харчової і легкої промисловості. Спосіб ультразвукової обробки матеріалів уперше був запропонований в 1945 році. Перші ультразвукові пристрої для різання металів з'явилися в 1953 році. Ультразвук стали застосовувати для зниження сил різання при токарній, фрезерній, свердлуванні, зенкуванні, нарізуванні різьблення і шліфуванні [1]. Зниження сил за допомогою ультразвуку дозволило значно підвищити продуктивність, отримати більш високий клас чистоти обробки, збільшити термін служби різальних інструментів. Ефективність дії ультразвукових коливань в процесах різання залежить від величини амплітуди і частот коливань, їх напрямку, фізико-механічних і теплофізичних властивостей оброблюваного матеріалу і матеріалу інструменту [1].

Обробку вібруючим ножом застосовують у ряді галузей промисловості для різання різних матеріалів. В той же час у взуттєвій і шкіргалантерейній промисловості вона ще не знайшла широкого застосування.

Постановка завдання. На силу різання і якість обробки матеріалу вібруючим ножом впливають частота і амплітуда коливань, кут заточування і матеріал ножа, швидкість транспортування виробу, властивості матеріалу і товщина шару, що знімається.

Огляд робіт по ультразвуковому і вібраційному різанню показав, що в принципі можливе різання з усіма трьома основними напрямками коливань: тангенціальними, осьовими, радіальними (рис. 1).

Представляється важливим дослідити, яким чином вибирати напрям коливань при ультразвуковому різанні взуттєвих матеріалів, встановити закономірність впливу частоти і амплітуди коливань ножа а також швидкості його робочого руху відносно матеріалу на силу опору.

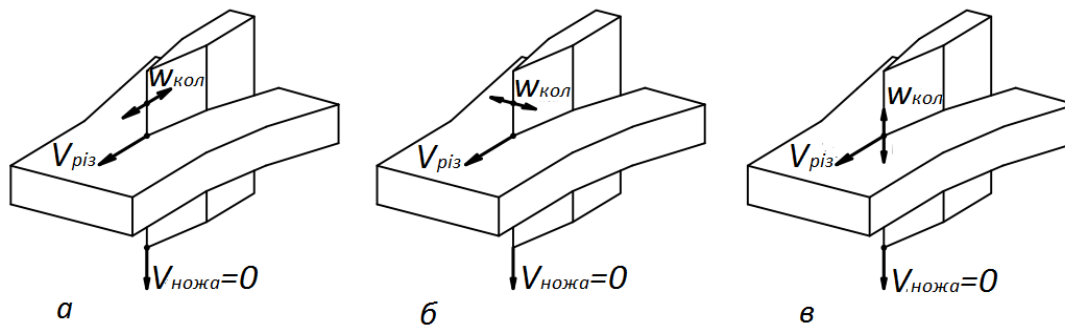


Рис. 1. Схеми різання ножом з ультразвуковими коливаннями:
а – в тангенціальному напрямі; б – в радіальному напрямі; в – в осьовому напрямі

Результати досліджень та їх обговорення

Для проведення досліджень було розроблено і виготовлено експериментальну установку, схема якої представлена на рис. 2.

Коливальна система установки складається з генератора ультразвукових коливань УЗГ1-1, магнітострикційного перетворювача ПМС-1, на виході якого встановлено акустичний трансформатор коливань експоненціального типу 7 (рис. 2). Генератор УЗГ1-1 призначений для перетворення електричної енергії промислової частоти в електричну енергію ультразвукової частоти і живлення магнітострикційного перетворювача ПМС-1. Для охолодження перетворювача служить проточна вода. В генераторі передбачена можливість безступеневого регулювання частоти і амплітуди коливань з відповідною стрілочною індикацією.

Технічна характеристика генератора УЗГ1-1:

- потужність вихідна регульована – 100...1000 Вт;
- напруга живлення, В 220 5%, 50 Гц;
- частота вихідної напруги регульована – 20,5...22,5 кГц;
- коефіцієнт корисної дії, % – не менше 65;
- маса, кг – не більше 70.

Технічна характеристика магнітострикційного перетворювача ПМС1-1:

- споживана потужність – не більше 1 кВт;
- напруга живлення – 220 В;
- робоча частота – 20...24 кГц;
- амплітуда зміщення торця – 10 мкм;
- маса, не більше – 4,5 кг.

На акустичному трансформаторі за допомогою хому та гвинтів встановлюється різальний інструмент (плоский ніж, або голка швейної машини) з можливістю його заміни і зміни положення.

Матеріал, що підлягає різанню закріплюється на каретці 2 затискувачем 4. Каретка 2 встановлена на роликів опор 9 для можливості повздовжнього переміщення. Рух каретки з матеріалом здійснюється за допомогою колекторного електродвигуна 6 і гвинтової передачі 5. Електродвигун живиться від регульованого джерела напруги (на схемі не показано), що дозволяє змінювати частоту його обертання і виконувати реверс. Для зупинення каретки в крайніх положеннях встановлено кінцеві вимикачі (на схемі не показані).

Для вимірювання сили, що діє на ніж при різанні використано тензометричний датчик 8, що представляє собою консольну сталеву балку з наклеєними тензорезисторами, яка жорстко з'єднана з корпусом магнітострикційного перетворювача (ПМС) і закріплена на основі.

Електричний сигнал з тензодатчика 8 подається на підсилювач, потім на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), що з'єднаний з комп'ютером. Система вимірювання зусилля різання установки виконана на основі двоканального аналого-цифрового перетворювача з USB виходом ВА8020, який може використовуватися для аналізу низькочастотних аналогових сигналів, реєстрації тривалих поволі змінних процесів, а також дослідження двійкових сигналів. Прилад може використовуватись як простий двоканальний вольтметр для вимірювання напруги в діапазоні ± 20 В, частотоміра в діапазоні до 50 кГц.

Технічна характеристика аналого-цифрового перетворювача ВА 8020:

- кількість каналів – 2;
- частота дискретизації – 0,01 Гц ... 200 кГц;
- вхідна напруга – -20 ... +20 В;
- максимальний час запису – 24 години при $F_d < 100$ Гц;
- розрядність АЦП – 10 біт.

Для вимірювання частоти ультразвукових коливань служить вимірник частоти ЧЗ-63/1, який отримує частотний електричний сигнал з котушки індуктивності, що вмонтована в перетворювачі ПМС-1 (передбачено виробником).

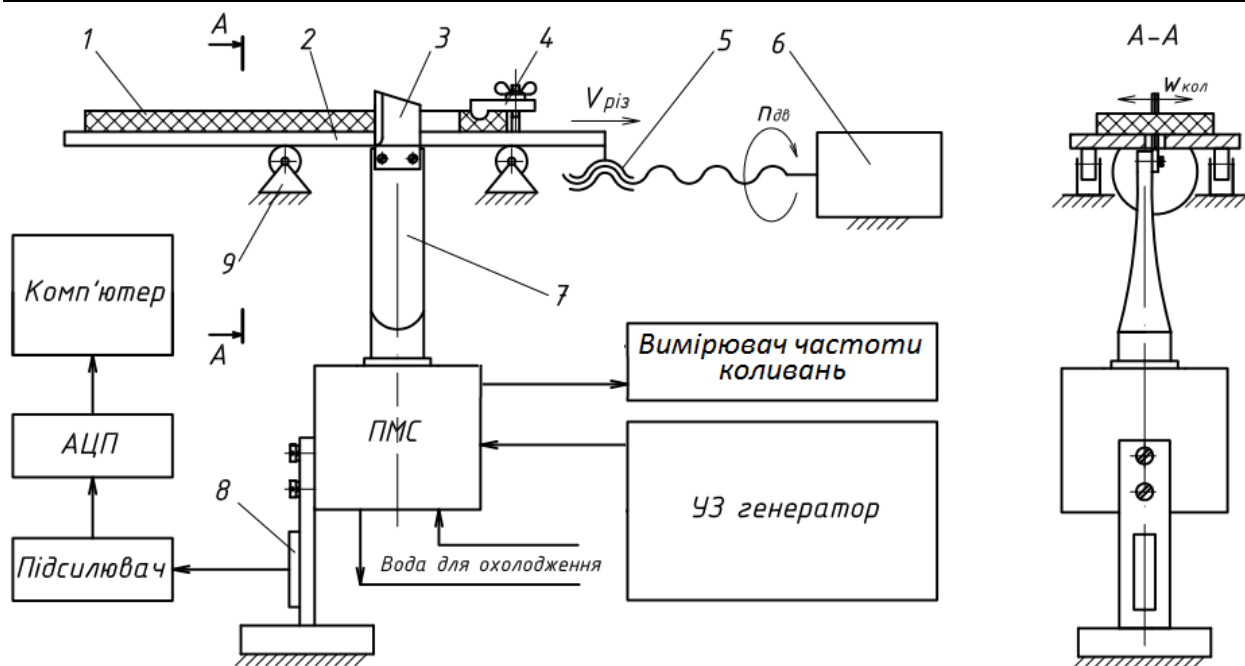


Рис. 2. Схема експериментальної установки для дослідження процесу різання взуттєвих матеріалів при дії ультразвукових коливань на лезо ножа:

1 – зразок листового матеріалу; 2 – каретка; 3 – ніж; 4 – затискувач; 5 – гвинтова передача; 6 – електродвигун; 7 – експоненціальний трансформатор УЗ коливань; 8 – балка з тензодатчиком; 9 – роликові опори

Налагодження і тарування вимірювальної системи експериментальної установки виконувалось наступним чином.

Амплітуда механічних коливань робочого торця акустичного трансформатора встановлювалась за допомогою регулятора на генераторі. Для тарування регулятора амплітуди було використано відомий метод [2], що заснований на візуальному вимірюванні амплітуди коливань за допомогою оптичного мікроскопа, забезпеченого окулярною шкалою або сіткою. У основі вимірів амплітуди коливань у відомому методі лежить спостереження за бічною поверхнею стержневої ультразвукової коливальної системи (що здійснює подовжні коливання) через мікроскоп, оптична вісь якого перпендикулярна до осі коливальної системи. Спостереження ведуть у відбитому світлі, причому в окуляр вставляють шкалу або сітку з відомою ціною ділення. Помітивши на досліджуваній поверхні до включення коливань чітко видиму точку або штрих, перпендикулярний осі системи, спостерігають їх «розмивання». Величина цього «розмиття» відповідає «розмаху» коливань, тобто подвоєному значенню амплітуди. При цьому погрішність вимірів визначається шириною нерухомого зображення спостережуваної точки або штриха.

Виміри зміщень проводили за допомогою мікроскопа (МІМ-7 і окулярного мікрометра МОВ - 1-1,5). При цьому на поверхню відполірованого торця акустичного трансформатора наносили штрихи механічним способом, дряпаючи алмазним конусом (від прибору для вимірювання твердості) його поверхню. Ширина штриха не перевищувала 10 мкм. При регулюванні амплітуди коливань ширина оптичного «розмивання» нанесеного штриха змінювалась в межах 5...60 мкм. Тобто такий спосіб виявився ефективним для визначення амплітуди механічних коливань. За результатами вимірювань було градуйовано стрілочний індикатор на генераторі.

Тарування системи вимірювання зусилля різання здійснювалось послідовним навантаженням консольної балки з тензодатчиками відомими вантажами.

Регулювання швидкості руху каретки зміненням напруги живлення електродвигуна можливе в межах 5...120 мм/с.

Для дослідження було обрано шкіру натуральну для верху взуття товщиною 1,3 мм, шкіру натуральну для виготовлення ременів товщиною 3,5 мм і замітник шкіри з полівінілхлоридним покриттям на нетканій основі товщиною 1,2 мм, що використовується для виготовлення шкіргалантерейних виробів.

Для різання матеріалів використовувались плоскі ножі з інструментальної сталі товщиною 0,5 мм і кутом загострення різальної кромки 15°.

Результати експериментальних досліджень були оброблені за допомогою персонального комп'ютера з використанням програмного забезпечення «Microsoft Office Exel 2007» і «Mathcad 14», в такій послідовності:

- експорт отриманих даних випробувань записаних програмою «Disco Application», та збережених у вигляді текстових документів у форматі (.txt) в табличну форму програмного забезпечення «Microsoft Office Exel 2007» та подальше збереження у форматі (.xlsx); данні являють собою значення напруги, що відповідає певному зусиллю різання ;
- масштабування отриманих експериментальних даних і приведення до нульового рівня в

програмному забезпеченні «Microsoft Office Excel 2007»;

- обчислення середнього значення сили різання.

Осцилограма змінених сили різання шкіри верху взуття при увімкненні генератора ультразвукових коливань показана на рис. 3.

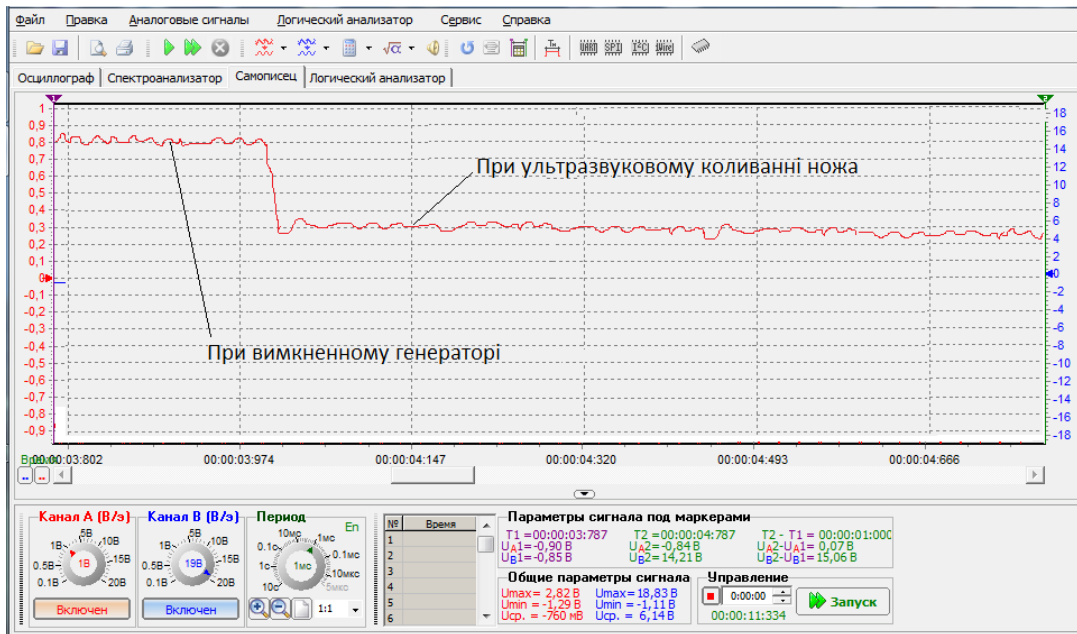


Рис. 3. Осцилограма змінених сили різання шкіри верху взуття при увімкненні генератора ультразвукових коливань

В ході постановочних експериментів було визначено зусилля різання обраних матеріалів без вібрації леза ножа, які становили:

- для шкіри натуральної для верху взуття 5,2 Н;
- для шкіри натуральної для виготовлення ременів 14,5 Н;
- для замітника шкіри з полівінілхлоридним покриттям на нетканій основі 2,7 Н.

Також було встановлено, що найбільший ефект зменшення зусилля різання має місце при коливанні ножа в радіальному напрямі (рис. 1б), тому представимо подальші експериментальні дослідження саме для цього способу різання.

При плануванні експерименту було вибрано три фактори: амплітуда коливань ножа, частота коливань і швидкість подання матеріалу на ніж (швидкість різання) (таблиця 1).

Для реалізації трифакторного експерименту було обрано не композиційний план другого порядку [3].

Матриця не композиційного плану другого порядку для трьох факторів передбачає проведення 15 дослідів при різних сполученнях рівнів факторів представлена в таблиці 2.

Для трьох факторів рівняння регресії буде мати наступний вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (1)$$

Зв'язок між кодованими та дійсними значення фактору задається виразом:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta_i}, \quad (2)$$

де X_{ii} – кодоване значення фактору; x_i – дійсне значення фактору; x_{i0} – значення i -го фактору на нульовому рівні; Δ_i – крок варіювання i -го фактору.

Коефіцієнти рівняння (1), дисперсію S_y^2 відтворюваності експерименту за результатами дослідів в центрі плану, дисперсії коефіцієнтів регресії визначали по відомим формулам [3].

Таблиця 1

Фактори, рівні та кроки їх варіювання

Фактори		Рівні варіювання			Крок варіювання Δ
		-1	0	1	
Амплітуда коливань, мкм	x_1	10,0	30	50	20
Частота коливань, кГц	x_2	20,5	21,5	22,5	1,0
Швидкість різання, мм/с	x_3	10	55	100	45

Після реалізації плану експерименту отримано результати, які представлено в таблиці 2.

Результати трифакторного експерименту

№ досліджу	Амплітуда, мкм	Частота, кГц	Швидкість, мм/с	Сила різання, Н		
				Шкіра 1,3 мм	Шкіра 3,5 мм	Шкіра синтетична
1	50.0	22.5	55.0	4.1	10.2	1.9
2	50.0	20.5	55.0	4.3	11.5	2.2
3	10.0	22.5	55.0	3.2	6.0	1.9
4	10.0	20.5	55.0	3.5	6.0	2.0
5	30.0	21.5	55.0	2.2	5.4	1.3
6	50.0	21.5	100.0	4.7	14.0	2.3
7	50.0	21.5	10.0	3.8	9.3	1.9
8	10.0	21.5	100.0	3.7	8.4	1.7
9	10.0	21.5	10.0	3.1	6.0	1.6
10	30.0	21.5	55.0	2.1	5.3	1.2
11	30.0	22.5	100.0	2.7	6.2	1.6
12	30.0	22.5	10.0	1.9	4.8	1.1
13	30.0	20.5	100.0	2.5	6.2	1.6
14	30.0	20.5	10.0	2.1	5.0	1.7
15	30.0	21.5	55.0	1.8	4.9	1.5

Значущість коефіцієнтів перевіряли по критерію Ст'юдента, а адекватність рівнянь регресії експерименту перевіряли за критерієм Фішера [3].

На практиці не дуже зручно користуватися математичною залежністю представлену в кодованих величинах. З урахуванням (1) отримано наступні рівняння регресії:

- для шкіри натуральної для верху взуття

$$F_{різ} = 2,033 + 0,425 \cdot X_1 - 0,063 \cdot X_2 + 0,338 \cdot X_3 + 0,025 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,075 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,1 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,633X_1^2 + 0,108 \cdot X_2^2 + 0,158 \cdot X_3^2; \quad (3)$$

- для шкіри натуральної для виготовлення ременів

$$F_{різ} = 5,2 + 2,325 \cdot X_1 - 0,188 \cdot X_2 + 1,213 \cdot X_3 + 0,326 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,575 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,05 \cdot X_2 \cdot X_3 + 3,55X_1^2 - 0,325 \cdot X_2^2 + 0,675 \cdot X_3^2; \quad (4)$$

- для замітника шкіри з полівінілхлоридним покриттям на нетканій основі

$$F_{різ} = 1,333 + 0,138 \cdot X_1 - 0,125 \cdot X_2 + 0,113 \cdot X_3 + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,075 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,15 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,521X_1^2 + 0,146 \cdot X_2^2 + 0,02 \cdot X_3^2, \quad (5)$$

де X_1, X_2, X_3 приймають значення +1, 0, -1 згідно рівням варіювання відповідних факторів.

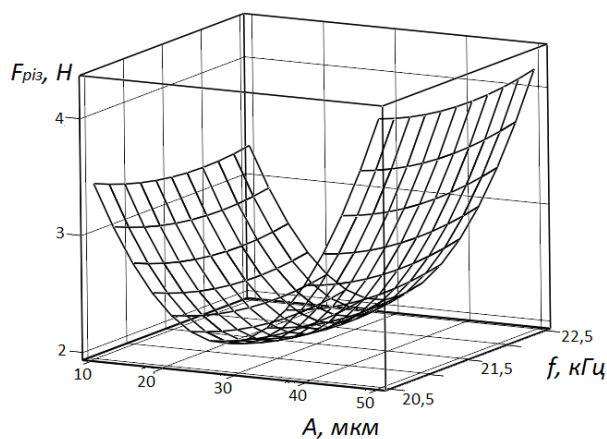


Рис. 4. Графік залежності сили різання від амплітуди і частоти, отриманий за рівнянням (3) при $X_3 = 0$

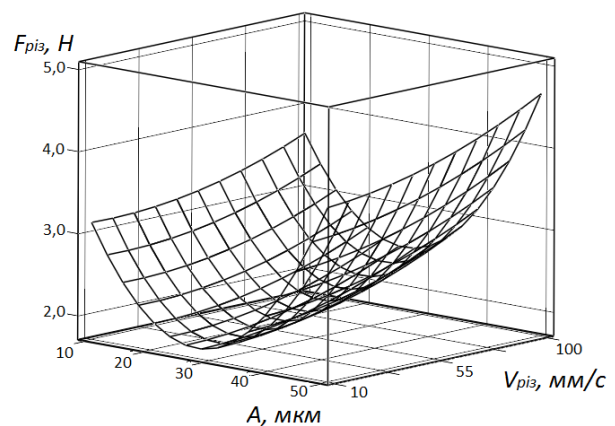


Рис. 5. Графік залежності сили різання від амплітуди і швидкості подання матеріалу на ніж, отриманий за рівнянням (3) при $X_2 = 0$

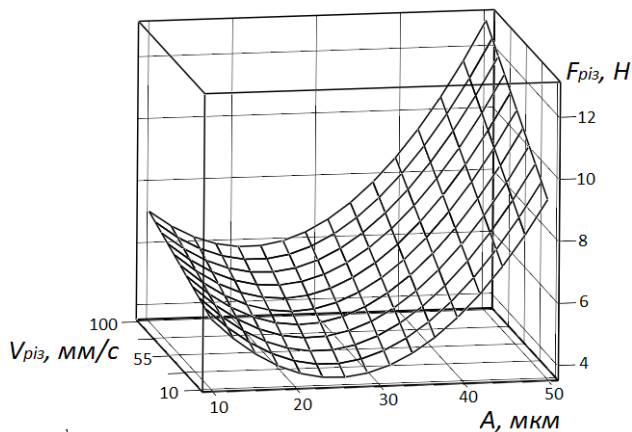


Рис. 6. Графік залежності сили різання від амплітуди і швидкості подання матеріалу на ніж, отриманий за рівнянням (4) при $X_2=0$

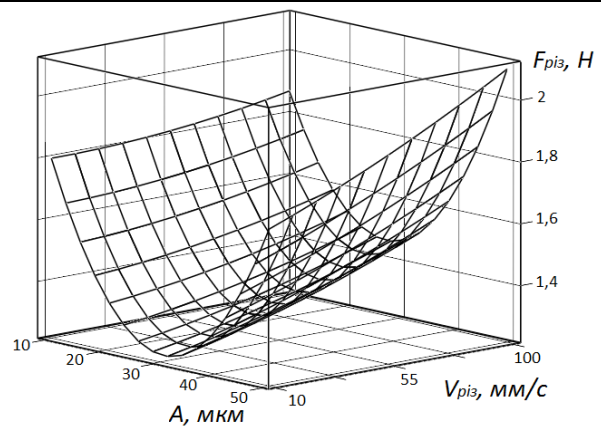


Рис. 7. Графік залежності сили різання від амплітуди і швидкості подання матеріалу на ніж, отриманий за рівнянням (5) при $X_2=0$

Як видно з графіків (рис. 4–7), залежність сили різання від амплітуди ультразвукових коливань ножа в радіальному напрямі найбільш значима і має яскраво виражений екстремальний характер при різанні всіх вибраних матеріалів. При збільшенні амплітуди коливань від мінімальної (10 мкм) зусилля різання спочатку зменшуються досягаючи мінімального значення в області 20...35 мкм, а потім зростають. При амплітудах вище 30...35 мкм відбувається інтенсивне розігрівання матеріалів в області різання, а для синтетичної шкіри з полівінілхлоридним покриттям навіть її оплавлення з деструкцією полімеру (про це свідчив інтенсивний запах хлористого водню). Отримані результати експерименту, при варіюванні факторів на трьох рівнях не дають можливість встановити найбільш раціональне значення амплітуди коливань для кожного з матеріалів, а лише підтверджують наявність таких значень, що було нами передбачено при теоретичних дослідженнях [4]. Для уточнення характеру залежності сили різання від амплітуди коливань ножа було проведено однофакторний експеримент, при варіюванні амплітуди в межах 10...40 мкм, з кроком 5 мкм.

В результаті експерименту встановлено, що мінімальне значення сили різання має місце при наступних амплітудах:

- для шкіри натуральної для верху взуття $A_{рац} = 20...25$ мкм, при якій $A_{piz} = 1,5...1,8$ Н;
- для шкіри натуральної для виготовлення ременів $A_{рац} = 15...20$ мкм, при якій $A_{piz} = 3,5...4,0$ Н;
- для замітника шкіри з полівінілхлоридним покриттям на нетканій основі $A_{рац} = 10...15$ мкм, при якій $A_{piz} = 1,1...1,3$ Н.

Висновки

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено що при різанні зруттевих і шкіргалантерейних матеріалів при коливанні інструменту з ультразвуковою частотою в радіальному напрямі можливе зменшення сил різання в 2...3 рази, що призведе до покращення якості і точності деталей (в результаті зменшення спучування матеріалу перед зоною різання), зменшення технологічних навантажень на відповідні механізми обладнання і підвищення енергетичної ефективності технологічних процесів розкרוювання.

Література

1. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Кумабэ Д. ; перевод с яп. С.Л. Масленникова ; под ред. И.И. Портнова и В.В. Белова. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.
2. Макаров Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковой технологии / Макаров Л.О. – М. : Машиностроение, 1983. – 56 с.
3. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / Спиридонов А.А. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
4. Параска Г.Б. Математичне моделювання ультразвукового різання в'язко-пружних матеріалів / Параска Г.Б., Аль-Яфаї Наср, Місяць В.П. // Тези доповідей VIII Українсько-польськ. конф. молодих науковців.– Хмельницький : ХНУ, 2011. – 214 с.

Рецензія/Peer review : 12.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Параска Г.Б.

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ АЗОТУВАННЯ У ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ

Наведено критичний аналіз існуючих математичних моделей процесу азотування у тліючому розряді. Запропоновані альтернативні підходи до формування комплексу вихідних факторів математичних моделей досліджуваного процесу, що базуються на енергетичній моделі процесу і дозволяють враховувати вплив на результати модифікації не тільки режимних параметрів, але й інтенсивності перебігу основних субпроцесів азотування у тліючому розряді – утворення нітридів, дифузії та розпорошення поверхні.

Ключові слова: математична модель, метод планування експерименту, енергетичні параметри, азотування в тліючому розряді.

G.M. SOKOLOVA
Khmelnitsky National University

FORECASTING OF NITRIDING IN GLOW DISCHARGE RESULTS ON THE BASIS OF ENERGY MODEL OF THE PROCESS

A critical analysis of mathematical models of the nitriding in glow discharge process (NGD), formed by experimental design using operational parameters (temperature, pressure, gas mixture composition and duration of the process) as varying factors is performed. It was experimentally established that reducing of energy parameters (voltages on the electrodes of the camera and the current density) causes a significant reduction of the depth of the nitrated layer, thickness of the compound layer and surface microhardness, in the conditions of the process implementation with both dependent and independent parameters mode. On this basis it was proved the necessity of consideration of NGD energy parameters in the mathematical modelling and in this context – inferiority of experimental design method and unacceptability of its application to the simulation of said process. It was proposed alternative approaches to formation of the initial factors complex based on energy model of NGD process, that take into account the influence of the intensity of the main subprocesses (the formation of nitrides, surface sputtering and diffusion) on the modification results

Keywords: mathematical model, experimental design, power options, nitriding in glow discharge

Вступ

Керованість процесу як можливість отримання заданих характеристик поверхні шляхом варіювання параметрами режиму вважається однією з основних переваг технології азотування у тліючому розряді (АТР). Разом із тим, слід зауважити, що вона не виходить за межі передбачення якісних змін модифікованої поверхні; що ж стосується прогнозування кількісних характеристик результатів азотування – наприклад, товщини азотованого шару, мікротвердості поверхні тощо, – то на сьогодні це питання залишається далеким від вирішення. У загальному випадку задача встановлення зв'язків між кількісними характеристиками результатів досліджуваного процесу з одного боку та факторами, що їх визначають, з іншого, може бути вирішена за допомогою формування математичних моделей. Втім, математичне моделювання процесу АТР, як справедливо зауважують автори [1], “досі не вийшло за межі розв'язання рівняння дифузії і визначення коефіцієнтів дифузії у фазах на чистому залізі, тобто воно обмежується лише процесами в оброблюваному матеріалі, ... не звертаючись до технологічних параметрів обробки”.

Аналіз джерел за темою дослідження

Автори роботи [1] для встановлення зв'язку між вихідними параметрами процесу та товщиною модифікованого шару пропонують використовувати метод математичного планування експериментів. Треба зауважити, що ця ідея не вирізняється оригінальністю – метод планування (якщо точніше – плани другого порядку Хартлі) для аналогічних цілей був застосований у роботі [2] ще в 1990 р.

Взагалі аналіз літературних джерел [1–4] свідчить, що усі спроби вирішення задачі прогнозування кількісних показників, які визначають трибологічні властивості сталевих поверхонь, азотованих у тліючому розряді, так чи інакше пов'язані із методом планування експериментів (ПЕ), який дозволяє отримувати моделі процесів, використовуючи факторне планування та регресійний аналіз. Такий стан речей навряд чи можна визнати прийнятним, оскільки окрім загальновідомих недоліків згаданого методу [5], він ще й висуває ряд вимог до показників, які виступають у ролі факторів досліджуваного процесу. Вказані вимоги далеко не завжди можуть бути дотримані на практиці, результатом чого є ігнорування впливу окремих факторів і, як наслідок, недостатня точність, а інколи й недостовірність отриманих математичних моделей, яскравим прикладом чого і виступають існуючі спроби моделювання процесу АТР, в яких факторами варіювання приймаються виключно режимні параметри – температура, тиск, склад газової суміші та тривалість процесу, тоді як вплив енергетичних параметрів повністю ігнорується.

Постановка завдання

У роботі підіймається питання прийнятності застосування методу планування експерименту для математичного моделювання процесу АТР і аналізується практична цінність отриманих цим методом моделей. Пропонуються альтернативні підходи до формування комплексу вихідних факторів, що базуються на енергетичній моделі процесу і дозволяють враховувати вплив на результати модифікації не лише

режимних та енергетичних параметрів, але й інтенсивності перебігу основних субпроцесів досліджуваного процесу – дифузії, розпорощення поверхні та нітридоутворення.

Виклад основного матеріалу

Основними вимогами, які висуваються до сукупності факторів при ПЕ, є їхня сумісність та незалежність. Перша вимога означає, що всі комбінації здійсненні, тобто можуть бути реалізовані на практиці; друга передбачає можливість встановлення фактора на будь-якому рівні незалежно від рівнів інших факторів. Традиційно незалежність факторів тлумачиться як відсутність кореляції між ними, при цьому стверджується, що ця вимога “не означає, що між значеннями факторів немає ніякого зв’язку; достатньо аби цей зв’язок не був лінійним” [6, с. 54]. Останнє зауваження навряд чи має сенс, оскільки використання методу ПЕ стає неможливим при наявності будь-якого зв’язку між факторами процесу, навіть нелінійного, прикладом чого може слугувати спроба планування експерименту з метою дослідження процесу АТР з незалежними параметрами.

Як відомо, у загальному випадку усі параметри технологічного режиму АТР є взаємозалежними та взаємопов’язаними, причому найбільші обмеження на керування процесом азотування накладає температура, оскільки її значення визначається комбінацією напруги і густини струму. Очевидно, що при забезпеченні незалежності параметрів технології відкриваються додаткові можливості як для інтенсифікації процесу, так і для якісного керування наслідками модифікації. У світовій практиці проблема забезпечення незалежності температури від енергетичних параметрів режиму АТР вирішується введенням джерела підігріву, альтернативного тліючому розряду. Втім навіть за таких умов незалежність вказаних факторів залишається досить умовною. Перш за все, варто зауважити, що змінюватись може значення лише одного з вказаних показників – або напруги, або густини струму, – але при цьому на область його варіювання буде впливати комбінація решти параметрів. Так, при постійних температурі та складі газової суміші область припустимих значень напруги залежатиме від тиску у розрядній камері і буде обмежена, по-перше, максимальним значенням напруги, яке відповідає процесу без альтернативного джерела підігріву, а по-друге, деяким мінімальним значенням, при якому процес АТР зберігає свою ефективність.

Як свідчать результати експериментальних досліджень, зниження значень енергетичних параметрів негативно позначається на результатах АТР, призводячи до зниження мікротвердості поверхні, товщини азотованого шару та нітридної зони, а також до погіршення трибологічних характеристик (зростання інтенсивності зношування, збільшення коефіцієнта тертя тощо). Планування експерименту для такого процесу за традиційною методикою, що передбачає визначення основного рівня та інтервалів варіювання, слід визнати неприйнятним, оскільки це зумовить вихід за межі області припустимих значень напруги і густини струму – за нижні (що неприпустимо з точки зору прийнятності результатів азотування) або за верхні (що неможливо в принципі). Наочним підтвердженням наведеного положення може слугувати рис. 1, на якому наведено залежності між напругою і густиною струму при різних значеннях тиску. Точки 1, 2, 3 відповідають комбінації параметрів при азотуванні без додаткового джерела підігріву. Зменшення значення напруги до U_x , цілком прийнятне з точки зору результатів азотування при тиску p_1 , може призвести до негативних наслідків, якщо процес АТР проводитиметься при тиску p_2 , і є однозначно неприйнятним при тиску p_3 . Аналогічні висновки будуть справедливими і при зниженні густини струму до значення j_x .

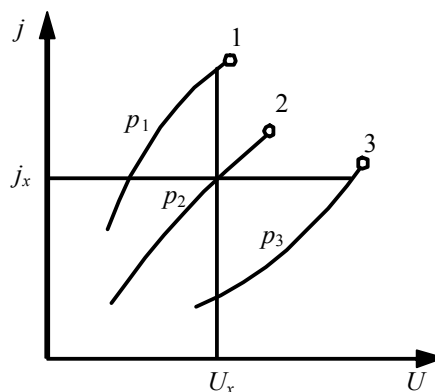


Рис. 1. Залежність між енергетичними параметрами процесу АТР

Отже, навіть при забезпеченні незалежності напруги та густини струму від температури, керування ними обмежується можливістю варіювання одного з вказаних параметрів у деяких межах; значення другого визначається комбінацією решти параметрів. Що ж стосується процесу АТР, який реалізується без додаткового джерела підігріву, то він взагалі не надає ані найменших можливостей змінювати значення напруги та густини струму. У цьому випадку енергетичні характеристики з певною часткою умовності можна розглядати як результуючі параметри процесу – їхні значення цілком визначаються комбінацією режимних параметрів, причому визначаються однозначно.

За таких обставин при моделюванні процесу АТР постають два питання: 1) чи варто врахувати вплив напруги та густини струму на результати азотування (особливо за відсутності додаткового джерела підігріву)? 2) якщо так, то яким чином це можна зробити?

Аналіз нечисленних існуючих математичних моделей процесу АТР свідчить про одностайність дослідників у відповіді на перше питання – вона є негативною, – після чого друге питання, зрозуміло, уже втрачає будь-який сенс. Втім, правомірність ігнорування енергетичних параметрів може бути заперечена неприйнятно вузькою областю застосування моделей, у яких факторами виступають виключно режимні параметри процесу АТР; по суті усі вони є лише математичним описом проведеного експерименту – технологічний процес, проведений за тих же значень температури, тиску, складу газової суміші та тривалості, але в іншій установці, призведе до геть інших результатів і відповідно абсолютно нівелює будь-яку точність моделі.

Річ у тім, що факторами, які визначають результативність процесу АТР, виступають не лише параметри режиму, але й такі показники, як міжкатодна відстань, форма та розміри підвіски і досліджуваного зразка (або деталі), наявність локальних виключень на його поверхні і багато інших (перелік факторів, які є визначальними при АТР, наведений американським дослідником Девідом Пайєм (David Pye) у роботі [7], включає тринадцять найменувань). Зрозуміло, безпосереднє урахування усіх цих факторів у математичній моделі, навіть якщо припустити таку можливість, призвело б до неймовірного ускладнення як процесу її формування, так і подальшого користування нею.

Тим не менш, врахувати всі зазначені фактори можна, але опосередковано, а саме – увівши у модель енергетичні параметри процесу, адже якщо значення режимних параметрів можуть бути встановлені цілком довільно на будь-якому рівні, припустимому для процесу АТР, то значення напруги і густини струму (цілком конкретне при азотуванні без додаткового джерела підігріву чи області їх варіювання – при його наявності) змінюються залежно від міжкатодної відстані, форми підвіски, розмірів деталі, наявності на ній локальних виключень і т.д. Тобто енергетичні параметри по суті несуть у собі інформацію не лише про кількісні та якісні характеристики розряду, але й відображають вплив усіх перерахованих факторів. У цьому контексті залежність напруги і густини струму від інших факторів виступає тією їхньою особливістю, що неодмінно має бути врахована при математичному моделюванні процесу.

Слід зауважити, що серед уже згаданих моделей АТР, сформованих методом ПЕ, є одна [1], яка враховує енергетичні параметри процесу, а точніше – питому потужність розряду. Цей показник був уведений Б.М. Арзамасовим як кількісна характеристика густини енергії плазми (ГЕП), яку він запропонував розглядати у якості додаткового технологічного фактора керування процесом АТР. Наведені у роботі [8] результати досліджень свідчать про існування екстремальної залежності між ГЕП, яка є критерієм насичуючої здатності газового середовища, та його загальним тиском. Автори [8] (Б.М. Арзамасов та Т.А. Панайоті) зазначають, що тиск газового середовища, який відповідає максимальній питомій потужності розряду, забезпечує отримання модифікованого шару найбільшої в заданих умовах товщини. Втім, слід зауважити, що наведені висновки базуються на результатах дослідів з азотування мідних трубок довжиною 30 мм внутрішнього діаметра 1,6; 3,6 та 5,7 мм, але специфіка азотування отворів малого діаметра, пов'язана з ефектом полого катоду, навряд чи дозволяє поширювати його результати на деталі будь-якої конфігурації. Так, аналізуючи наведені на рис. 2 графіки, логічно буде припустити, що подальше збільшення внутрішнього діаметра азотованого зразка призведе до того, що досліджувана залежність взагалі втратить екстремальний характер, а тому висновки авторів [8] викликають певні сумніви.

На користь останнього говорить і той факт, що описані у [9] експерименти, покликані дослідити залежність потужності від тиску, але проведені зі зразками еліпсоїдної форми (що забезпечувало відсутність концентраторів поля), призвели до зовсім інших результатів (рис. 3).

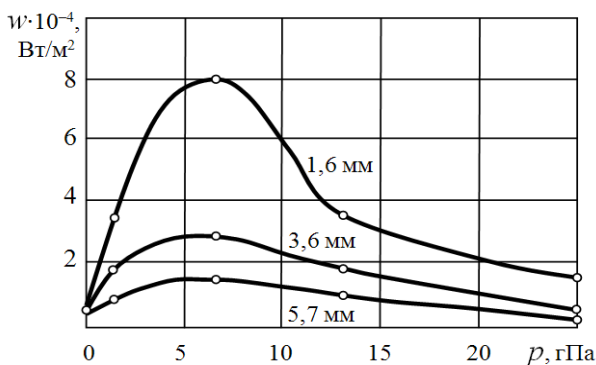


Рис. 2. Залежність питомої потужності розряду від тиску азоту при іонній обробці мідних трубок різного діаметра [8]

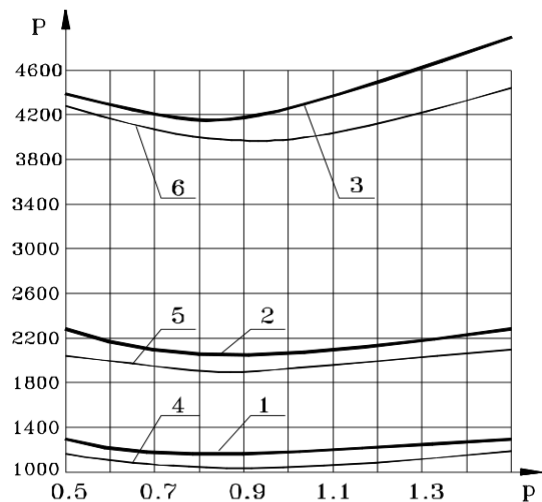


Рис. 3. Залежність активної потужності від тиску в режимі термостабілізації (товсті лінії – N75Ar25, тонкі – N10Ar90): 1, 4 – температура 400 °С; 2, 5 – 500 °С; 3, 6 – 600 °С [9]

Правомірність застосування у роботі [1] питомої потужності як фактора варіювання викликає

сумніви і з точки зору можливості довільного комбінування її значень із різними значеннями тиску. Як уже зазначалося, при наявності додаткового джерела підігріву область варіювання енергетичних параметрів для конкретної комбінації температури і тиску залишатиметься обмеженою певними комбінаціями значень напруги і сили струму. Оскільки питома потужність розряду визначається саме напругою та силою струму ($w = UI/S$ де U – напруга, кВ; I – сила струму, мА; S – площа поверхні зразка, см²), то залишається незрозумілим, яким чином авторам пропонуваної моделі вдалося провести експеримент, при постійній температурі довільно комбінуючи значення тиску та питомої потужності. Слід зауважити, що довільне комбінування тиску і питомої потужності у камері без додаткового джерела підігріву неможливе взагалі; якщо ж для проведення експериментів використовувалась камера з підігрівом, то авторам згаданої роботи варто було б надати пояснення щодо того, яким чином ними визначалася комбінація напруги і струму, що у підсумку давала необхідне значення питомої потужності. Разом із тим, не можна не звернути увагу на той факт, що подібне комбінування суперечить наведеному у роботі [10] положенню, згідно з яким “кожній потужності розряду відповідає певний тиск газового середовища”. Зважаючи на те, що автори аналізованої моделі неодноразово посилаються на вказану роботу, причому наведені у ній висновки критично ними не оцінюються і приймаються як незаперечний факт, згадане протиріччя потребує пояснення.

У будь-якому випадку можна констатувати, що застосування питомої потужності у якості вихідного фактора при математичному моделюванні процесу АТР залишається надто неоднозначним з точки зору чистоти методики побудови моделі, тому більш доцільним, а головне – більш обґрунтованим, буде використання з цією метою напруги і густини струму.

У загальному випадку математичному моделюванню процесу має передувати створення його фізичної моделі, тобто формулювання деяких вихідних положень, що пояснюють фізичні аспекти об'єкта дослідження. Лише після цього модельованому фізичному процесу має ставитись у відповідність система математичних співвідношень, що описує як перебіг окремих його стадій, так і залежність результатів від вихідних факторів впливу.

Серед фізичних моделей процесу АТР уже стали класичними моделі Ю.М. Лахтіна та Б.М. Арзамасова, але жодна з них не є аналітично обґрунтованою, що фактично зводить їх до рівня гіпотез. Щодо запропонованої І.М. Пастухом енергетичної моделі, то введені у ній аналітичні показники характеризують складові процесу азотування лише якісно, тобто дають можливість проаналізувати вплив параметрів технології на структуру та властивості модифікованого шару з позиції “краще – гірше, більше – менше”, але не дозволяють отримати кількісні значення кінцевих результатів азотування. Вирішення цієї задачі потребує створення математичного апарату, який давав би змогу встановити однозначний кількісний зв'язок між вказаними показниками і величинами, що виражають кінцевий результат азотування.

З точки зору математичного моделювання процесу АТР серед сімнадцяти запропонованих у роботі [9] аналітичних показників, найбільший інтерес становлять три, а саме – відносні енергетичні фактори (ВЕФ), що виступають характеристиками основних субпроцесів – нітридоутворення, розпорозувальної та дифузійної дії.

Вибір у якості вихідних факторів створюваної математичної моделі вказаних показників може бути обґрунтований наступними положеннями:

- значення ВЕФ визначаються з урахуванням технологічних параметрів режиму, а тому дозволяють опосередковано оцінити вплив температури, тиску у камері, складу газової суміші, напруги та густини струму на результати азотування; при цьому кількість вихідних факторів зменшується з п'яти до трьох, що в разі спрощує процес формування моделі;
- при визначенні ВЕФ нітридоутворення враховується вміст легуючих елементів, тобто цей показник містить інформацію про матеріал зразка;
- між комбінацією трьох вказаних ВЕФ для заданого матеріалу та комбінацію технологічних параметрів режиму існує цілком однозначний зв'язок, що дозволяє будувати моделі, метою яких є пошук оптимальних умов проведення досліджуваного процесу; знайдена за значенням параметра оптимізації комбінація ВЕФ може бути трансформована у комбінацію п'яти технологічних параметрів режиму;
- пропонувані показники несуть у собі інформацію про фізику процесу, оскільки розраховуються як сума по всім енергетичним рівням добуток значень енергетичних рівнів на значення відносного потоку з урахуванням ймовірнісних характеристик як самої енергії, так і геометрії взаємодії часток падаючого потоку і поверхні. Це дозволяє розглядати досліджуваний процес, як “сіру скриньку”, тобто систему, принцип роботи якої у загальних рисах відомий і в певних межах може вважатися керованим. При цьому недостатня повнота інформації про систему (наприклад, про кількісні характеристики процесу масоперенесення [1, с. 316]) компенсується при експериментальному визначенні емпіричних коефіцієнтів у ході побудови математичної моделі.

Описаний підхід є значним кроком уперед порівняно із моделюванням процесу АТР, при якому у якості вихідних факторів впливу виступають технологічні параметри режиму, оскільки в останньому випадку досліджуваний процес виступає як “чорна скринька”, тобто система, що розглядається як така, що має “вхід” для введення початкової інформації та “вихід” для відображення результатів роботи; щодо внутрішньої будови та механізму роботи системи, то за такого підходу вони повністю ігноруються.

Разом із тим, слід зауважити, що застосування у якості вихідних факторів впливу відносних енергетичних факторів нітридоутворення, розпорозувальної та дифузійної дії суттєво звужує коло методів,

які можуть бути використані при формуванні математичної моделі процесу АТР, оскільки вказані показники є взаємозалежними. Серед методів, які дозволяють оперувати залежними факторами, на особливу увагу заслуговують метод математичного моделювання багатофакторних та багатопараметричних процесів у багатокомпонентних системах на базі конструктивної геометрії та метод побудови графічних оптимізаційних моделей багатофакторних процесів засобами нарисної геометрії багатовимірного простору. Детально питання моделювання процесів із взаємозалежними факторами розглянуто у роботі [11].

Висновки

Наведено критичний аналіз математичних моделей процесу АТР, побудованих методом планування експерименту з використанням у якості факторів варіювання режимних параметрів – температури, тиску, складу газової суміші та тривалості процесу. Обґрунтована необхідність врахування впливу енергетичних параметрів, і в цьому контексті – обмеженість методу планування експерименту та неприйнятність його застосування до моделювання процесу АТР. Запропоновані альтернативні підходи до формування комплексу вихідних факторів, що базуються на енергетичній моделі процесу і дозволяють враховувати вплив на результати модифікації інтенсивності перебігу основних субпроцесів досліджуваного процесу – нітридоутворення, розпорошення поверхні та дифузії.

Література

1. Герасимов С. А. Моделирование процесса ионного азотирования / С. А. Герасимов, М. Г. Крукович, Е. А. Бадерко, Н. П. Клочков // Наука и образование. – 2013. – № 1. – С. 313–332.
2. Научные основы технологии упрочнения деталей машин и инструмента ионным азотированием в безводородных средах : дис. ... доктора технических наук : 05.02.01 : защищена 8.06.1990 : затв. 16.12.1990 / Каплун Виталий Григорьевич. – Хмельницкий, 1990. – 451 с.
3. Крукович М. Г. Упрочнение деталей азотированием и моделирование кинетики формирования диффузионных слоев при ионном процессе / М. Г. Крукович, Е. А. Бадерко, Н. П. Клочков // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 2. – С. 62–66.
4. Крукович М. Г. Моделирование кинетики роста и свойств азотированных слоев на сталях / М. Г. Крукович // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – № 2. – С. 18–19.
5. Лапач С. Н. Основные проблемы построения регрессионных моделей / С. Н. Лапач, С. Г. Радченко // Математичні машини і системи. – 2012. – № 4. – С. 125–133.
6. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова и др. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
7. Pye D. Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing / D. Pye. – Ohio: ASM International, 2003. – 260 p.
8. Арзамасов Б. Н. Роль удельной мощности разряда при ионной химико-термической обработке сплавов / Б. Н. Арзамасов, Т. А. Панайоти // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – № 6. – С. 31–34.
9. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.
10. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 400 с.
11. Соколова Г. М. Моделювання багатофакторних процесів з взаємозалежними факторами впливу / Г. М. Соколова // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2016. – № 1. – С. 117–120.

Рецензія/Peer review : 15.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Пастух І.М.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ КЕССОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

Выполнены экспериментальные исследования модели кессонного перекрытия, изготовленной в масштабе 1:6 по отношению к реальной конструкции. Испытания проведены на действие равномерно распределенной нагрузки, которая ступенчато увеличивалась вплоть до разрушения конструкции. Построены компьютерные модели перекрытия в программных комплексах SCAD, ANSYS, в которых используются принципиально различные подходы к моделированию и конечные элементы для дискретизации. Приведено сравнение результатов компьютерных и экспериментальных исследований модели кессонного перекрытия. Установлено, что при образовании первой трещины в прогибы в геометрическом центре плиты и на ее противоположной от места расположения трещины грани уменьшаются, а затем развитие прогибов принимает равномерный характер. По результатам компьютерных расчетов графики изменения прогибов носят плавный характер, и никаких локальных изменений прогибов не наблюдается.

Ключевые слова: кессонное перекрытие, эксперимент, трещина, метод конечных элементов, модель, прогиб, SCAD, ANSYS.

N.G. SURYANINOV, I.A. TWARDOWSKI, A.M. CHUCHMAI
Odessa State Academy of Construction and Architecture

COMPUTER STUDIES AND EXPERIMENTAL MODELS CAISSON SLABS

Experimental studies model caisson ceilings, made in the scale of 1:6 in relation to the actual design. Tests were carried out on the action of a uniformly distributed load, which is increased stepwise until structural failure. A computer model of the overlap in the SCAD software systems and ANSYS, that use fundamentally different approaches to modelling and finite elements for sampling. The comparison of the results of experimental studies and computer models caisson ceilings. It is found that the formation of the first crack deflection in the geometrical centre of the plate and at its opposite from the location of fracture faces decrease and then development takes deflections uniform character. According to the results of computer calculations of deflections graphics changes are gradual in nature, and no local changes are not observed deflections.

Keywords: caisson ceiling, experiment, crack, finite element method, model, deflection, SCAD, ANSYS.

Введение. Кессонное перекрытие представляет собой потолочное перекрытие из монолитных панелей, и выполняется в виде перпендикулярно пересекающихся друг с другом ребер, которые с помощью сравнительно тонкой бетонной плиты объединяются в монолитную конструкцию. Как правило, плита имеет форму квадрата, но может иметь и другую геометрическую форму.

Расчет монолитных ребристых перекрытий при традиционном проектировании сводится к раздельному расчету главных и второстепенных балок и монолитной плиты как балочных конструкций без учета их взаимодействия на напряженно-деформируемое состояние друг друга.

Общим недостатком методов расчета монолитных перекрытий при их традиционном проектировании является отсутствие учета пространственной работы и, как следствие, недооценка или переоценка их прочности и трещиностойкости.

С точки зрения механики кессонное перекрытие представляет собой ребристую пластину. Такая пластина представляет собой соединение двух разных типов взаимодействующих при деформации элементов — собственно пластины и ребер (одномерных стержней). Напряженно-деформированное состояние каждого из этих элементов, обусловленное в рамках известных прикладных теорий, имеет свои особенности. В связи с этим при изучении ребристых пластин возникает необходимость построения специальной теории, которая учитывает основные особенности, присущие отдельным элементам, и условия их общей работы. Точные аналитические решения этой задачи пока не получены.

Анализ исследований и публикаций. Теория пластин, подкрепленных ребрами, начала интенсивно развиваться с начала XX века в связи с необходимостью расчета конструкций кораблей, мостов и перекрытий различных сооружений. Первые работы рассматривали ребристую пластину как систему перекрестных балок. В работе И.Г. Бубнова [1] рассматривалась корабельная конструкция из главных балок, перекрестных связей и обшивки. Обычно в ребристой конструкции ребра одного или обоих направлений одинаковы и равноудалены. И.Г. Бубнов первый использовал возможность континуализации таких систем. Для случая перекрытия, состоящего из шести и более одинаковых главных балок и одной перекрестной связи, он рассматривает последнюю как балку на упругом основании. Алгебраические уравнения метода сил заменяются обыкновенным дифференциальным уравнением четвертого порядка. Если перекрытие содержит n перекрестных связей, И.Г. Бубнов сводит проблему к решению системы n дифференциальных уравнений. При ее решении он разделяет систему на независимые уравнения при помощи введения в качестве неизвестных функций, представляющих собой линейные комбинации функций прогибов перекрестных связей.

В дальнейшем такой подход развивался П.Ф. Папковичем [2], А.П. Филиным [3] и другими авторами. В случае мощной обшивки достоверность такого подхода уменьшается. Учет ее с помощью

включения в сечение балок части обшивки (приведенного пояса) рассматривался в работах В.В. Новожилова [4].

Развитие расчета ребристых пластин на основе дискретно-континуальной модели началось в 30-х годах XX века. Рассматривался наиболее простой случай прямоугольных пластин, подкрепленных ребрами одного направления при свободном опирании поперечных краев. Одна из первых работ здесь принадлежит А.С. Локшину [5]. В ней изучалась пластина, подкрепленная одинаковыми и равноудаленными ребрами, симметричными относительно срединной плоскости. Использовались одинарные тригонометрические ряды и метод конечных разностей.

Дальнейшее развитие такого подхода шло по пути усовершенствования решения обыкновенного дифференциального уравнения, описывающего изменение функции прогибов в направлении, поперечном к направлению ребер. А.П. Филиппов [6] интегрировал это уравнение, содержащее в правой части разрывные функции, с помощью символического интегрирования.

Метод перемещений при расчете ребристых пластин по дискретно-континуальной схеме был впервые использован А.В. Александровым [7]. При этом ребра рассматривались не только как стержни, но, в случае большой высоты, и как пластины, испытывающие изгиб и плоское напряженное состояние.

Большие трудности возникают при расчете пластин, подкрепленных ребрами двух направлений. Эта задача потребовала дальнейшего развития теории ребристых пластин. При записи основных соотношений нашли широкое применение обобщенные функции. Они позволили получить уравнения теории ребристых пластин и оболочек в стандартной форме, принятой в теории гладких пластин и оболочек. Такие уравнения, с учетом всех наиболее важных факторов работы ребер, впервые получены Е.С. Гребнем [8]. Он также рассмотрел вопросы решения уравнений, содержащих δ -функции, с помощью двойных тригонометрических рядов для пластин с ребрами в двух направлениях и с помощью одинарных рядов в случае ребер одного направления.

Применение численно-аналитического метода граничных элементов к расчету ребристых и ортотропных пластин рассмотрено в [9]. Широкие возможности для исследования работы ребристых пластин предоставляет использование современных инженерных программ, основанных на методе конечных элементов [10, 11]. Но при расчете кессонных перекрытий возникает необходимость верификации получаемых результатов, поскольку материал этих конструкций — железобетон — обладает известной спецификой.

Целью работы является развитие компьютерных и экспериментальных методов исследования напряженно-деформированного состояния кессонных перекрытий.

Изложение основного материала исследования. Для проведения эксперимента была изготовлена модель кессонного перекрытия в масштабе 1:6. Плита выполнена прямоугольной, с размерами 1.5x2 м в плане, высотой сечения 100 мм (рис. 1).

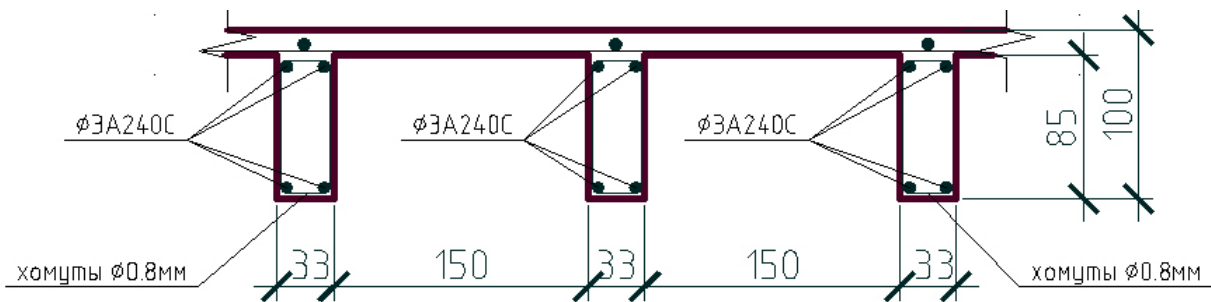


Рис. 1. Экспериментальная модель перекрытия

Формирование пустот (кессонов) производилось при помощи деревянных брусков, размером 150x150 мм. Диаметр верхней и нижней продольной и поперечной арматуры составляет 3 мм, сетки в пределах полки плиты — 2 мм. Плита бетонировалась в металлической опалубке, соединённой по контуру металлическими уголками на болтах для предотвращения распора от давления бетона (рис. 2).

Заполнение плиты произведено цементно-песчаным крупнозернистым раствором. В качестве вяжущего для бетона применялся портландцемент марки М400, согласно ДСТУ Б.В.2.7-112-2002.

Приготовление, укладка и уплотнение бетонной смеси осуществлялось вручную. При бетонировании из каждого замеса изготавливались контрольные образцы — кубы и призмы.

Испытание плиты проводилось на действие равномерно распределённой нагрузки. Нагрузка на плиту передавалась через металлические штампы и прикладывалась равномерно по поверхности плиты. Для имитации опирания опытного образца на колонны была использована металлическая распределительная рама. После набора бетоном 100% прочности (28 суток) плита была готова к испытанию. На нижнюю поверхность опытного образца для фиксации прогибов устанавливались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01мм.



Рис. 2. Устройство опалубки

Нагружение опытного образца кессонной плиты производилось ступенями в 1/10 от предполагаемой разрушающей нагрузки. Продолжительность ступени составляла 5 минут на начальных ступенях до появления первой трещины, и 10 минут на последующих ступенях. В начале и в конце выдержки производилась запись показаний с индикаторов часового типа. Во время выдержки производился визуальный осмотр испытываемого образца, фиксировались трещины на поверхности плиты, измерялась ширина их раскрытия.

Начальные этапы нагружения трещинообразования на боковых гранях испытываемой кессонной плиты не выявили. Визуальное раскрытие трещин началось при нагрузке, превышающей расчётную, то есть при дополнительном нагружении плиты на втором этапе испытаний. Первые трещины образовались в приопорной зоне стойки 2, а также на консоли, на расстоянии 1/3 от угла плиты. Перед разрушением плиты, трещины у стойки 2 получили максимальное раскрытие 7мм. На нижней поверхности плиты фиксировались трещины, характерные для продавливания безригельного каркаса. Разрушение характеризовалось резким разрывом арматурного каркаса и мгновенным обрушением конструкции.

С целью верификации результатов проведенных экспериментальных исследований были выполнены компьютерные исследования модели кессонного перекрытия. Для этого использовались программные комплексы ANSYS и SCAD. Результаты компьютерных расчетов и эксперимента фиксировались в тех десяти точках, где при испытаниях располагались индикаторы (рис. 3).

На рис. 4 представлены графики зависимости прогибов опытного образца, измеренных в двух точках, от приложенной в ходе испытаний нагрузки, а также аналогичные результаты, полученные в двух программных комплексах.

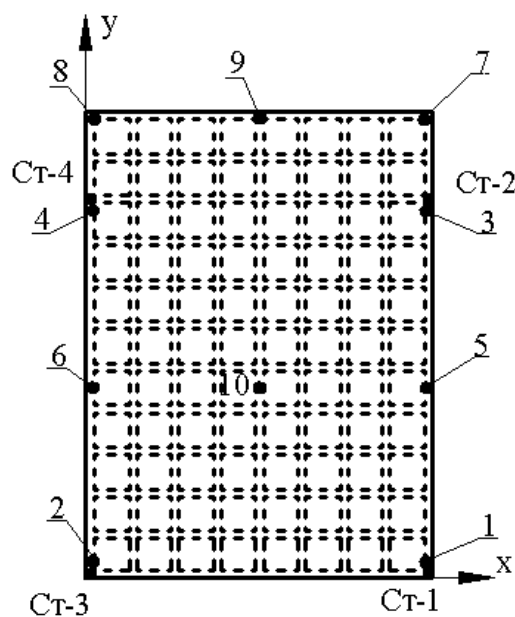


Рис. 3. Схема расположения индикаторов часового типа

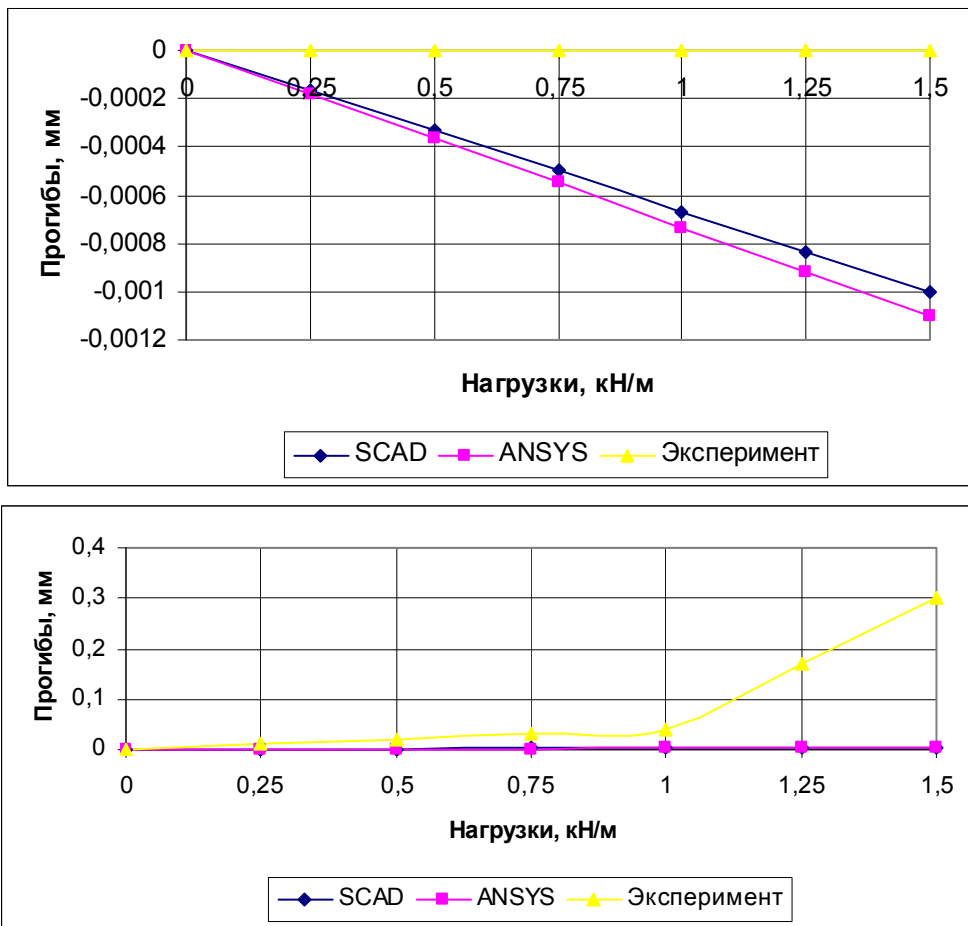


Рис. 4. Графики зависимости прогибов от приложенной нагрузки

На графиках видно распределение усилий по поверхности плиты при образовании первой трещины в приопорной области плиты (Ст2). Прогибы в геометрическом центре плиты, а также на противоположной грани уменьшились, при дальнейшем распределении усилий в плите развитие прогибов приняло равномерный характер. По результатам компьютерных расчетов графики изменения прогибов носят плавный характер, и никаких локальных изменений прогибов не наблюдается.

Из всех доступных результатов расчета отобраны для сравнения с экспериментальными данными значения прогибов, изгибающих моментов и максимальных напряжений, вычисленных в ANSYS. Причем, расчеты в ANSYS выполнены для нагрузки $q = 1,5 \text{ кН/м}$, при которой началось образование трещин в плите, и для нагрузки $q = 2,0 \text{ кН/м}$, при которой произошло разрушение конструкции. В первом случае максимальные напряжения составили $\sigma_{\max}(1,5) = 8,12 \text{ МПа}$, а при разрушении — $\sigma_{\max}(1,5) = 11,66 \text{ МПа}$.

Сравнение результатов, полученных методом конечных элементов в программах ANSYS, SCAD и экспериментально, приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение результатов компьютерных и экспериментальных исследований

№№ точек	Параметр	SCAD	ANSYS	Эксперимент
1	2	3	4	5
1	Прогиб, мм	-0,0010	-0,0011	-0,001
	Момент, кН·м	-0,1024	-0,1020	Не измерялся
2	Прогиб, мм	-0,0014	-0,0015	-0,002
	Момент, кН·м	-0,1024	-0,1022	Не измерялся
3	Прогиб, мм	-0,0010	-0,0011	-0,001
	Момент, кН·м	-0,1625	-0,1625	Не измерялся
4	Прогиб, мм	-0,0012	-0,0012	-0,001
	Момент, кН·м	-0,1636	-0,1610	Не измерялся

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
5	Прогиб, мм	-0,1333	-0,1328	-0,130
	Момент, кН·м	0,0534	0,0504	Не измерялся
6	Прогиб, мм	-0,1327	-0,1325	-0,131
	Момент, кН·м	0,0528	0,0508	Не измерялся
7	Прогиб, мм	0,0040	0,0038	0,004
	Момент, кН·м	0,0000	0,0000	Не измерялся
8	Прогиб, мм	0,0041	0,0039	0,004
	Момент, кН·м	0,0000	0,0000	Не измерялся
9	Прогиб, мм	-0,0911	-0,0888	-0,090
	Момент, кН·м	0,0394	0,0388	Не измерялся
10	Прогиб, мм	-0,2825	-0,2900	-0,272
	Момент, кН·м	0,0412	0,0404	Не измерялся

Выводы. При экспериментальном исследовании кессонного перекрытия доказано, что при образовании первой трещины прогибы в геометрическом центре плиты и на ее противоположной от места расположения трещины грани уменьшаются, а затем развитие прогибов принимает равномерный характер. По результатам компьютерных расчетов графики изменения прогибов носят плавный характер, и никаких локальных изменений прогибов не наблюдается.

Литература

1. Бубнов И.Г. Труды по теории пластин / И.Г. Бубнов. — М. : Гостехиздат, 1953. — 428 с.
2. Папкович П.Ф. Труды по строительной механике корабля : в 4 т. / П.Ф. Папкович. — Л. : Судпромгиз, 1962-1963.
3. Филин А.П. Расчет пространственных стержневых конструкций типа системы перекрестных связей и его применение к оболочкам при использовании электронных вычислительных машин / А.П. Филин // Исследования по строительной механике : сб. трудов ЛИИЖТ. — 1962. — Вып. 192. — С. 7–83.
4. Новожилов В.В. Линейная теория тонких оболочек / В.В. Новожилов, К.Ф. Черных, Е.И. Михайловский. — Л. : Политехника, 1991. — 665 с.
5. Локшин А.С. К расчету пластинок, подкрепленных жесткими ребрами / А.С. Локшин // Прикладная математика и механика. — 1935. — Т. II, вып. 2. — С. 231–240.
6. Филиппов А.П. Прямоугольные пластинки, подкрепленные упругими ребрами и точечными упругими опорами / А.П. Филиппов // Прикладная математика и механика, нов. серия. — 1937. — Т. I, вып. 2. — С. 187–204.
7. Александров А.В. Дискретная модель для расчета ортотропных пластин и оболочек / А.В. Александров // Тр. МИИТ. — 1971. — Вып. 364. — С. 3–10.
8. Гребень Е.С. Вопросы общей теории ребристых оболочек и перекрестных стержневых систем / Е.С. Гребень // Исследования по строительной механике. — Л.-М. : Труды ЛИИЖТ, 1966. — Вып. 249. — С. 211–223.
9. Сурьянинов Н.Г. Расчет пластин численно-аналитическим методом граничных элементов. Ортотропные и ребристые пластины / Н.Г. Сурьянинов, И.В. Павленко. — Германия. — LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. — 178 с.
10. Карпиловский В.С. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко и др. — М. : Издательство СКАД СОФТ, 2011. — 656 с.
11. Дашенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов / под ред. Н. Г. Сурьянинова. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — Одесса : Пальмира, 2011. — 505 с.

Рецензія/Peer review : 21.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Параска Г.Б.

УДК 685.34.055.4 – 52

С.А. МАКСИМОВ, Ю.В. ПЕТУХОВ, А.В. РАДКЕВИЧ, И.В. ШИНКЕВИЧ

Витебский государственный технологический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОКОН ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ ИЗ ЛИСТОВ ПВХ ПРОБОЙНИКОМ НА ШВЕЙНОМ ПОЛУАВТОМАТЕ С МПУ

Цель статьи – научно обоснованная методика исследования сил резания пробойником листа ПВХ технологической оснастки к швейному полуавтомату. В ходе экспериментального исследования методом тензометрии дана количественная оценка сил резания, возникающих в рабочей паре «инструмент – заготовка» при изготовлении технологической оснастки на швейном полуавтомате с МПУ. Полученный результат позволяет определить оптимальные границы технологических режимов, благодаря которым качество обрабатываемой поверхности и точность изготовления пазов и окон в оснастке достигаются наиболее высокими. Учет сил резания при изготовлении контуров в оснастке позволяет обеспечить высокое качество стачивания (сборки) многослойных изделий из кожи и кожеподобных материалов.

Ключевые слова: полуавтомат с МПУ, сила резания, режимы резания, технологическая оснастка, обработка пластин ПВХ.

S. A. MAKSIMOV, YU. V. PETUKHOV, A. V. RADKEVICH, I. V. SHINKEVICH

Vitebsk State Technological University

DETERMINATION OF FORCES OF CUTTING AT TREATMENT OF WINDOWS OF TECHNOLOGICAL RIGGING FROM FOLIAS OF PVKH BY PUNCH ON SEWING SEMI-AUTOMATIC DEVICE WITH MPU

Purpose of the article – the study of technological modes of mechanical processing equipment for semi-automatic sewing machines. The article presents the results of experimental investigation of cutting forces punch sheet polyvinyl chloride tooling to sewing machine with microprocessor-based control software, which allowed to determine the optimal boundaries of technological regimes, due to which the quality of the workpiece and the precision of grooves and windows snap-in are the most high. It is recommended to use the results obtained in the design and manufacture of equipment for sewing semiautomatic machines. This will improve the quality of stitching multilayer parts of footwear.

Keywords: semi-automatic device with MPU, cutting force, cutting modes, technological rigging, treatment of plates of PVKH.

Введение

Экономия энергетических, материальных и трудовых ресурсов является приоритетным направлением в разработке нового оборудования в различных отраслях промышленности. Этот принцип распространяется и на оборудование обувного, а также кожгалантерейного производства. В условиях мелкосерийного, среднесерийного производства возрастает потребность в разного рода полуавтоматах с высокими технологическими возможностями.

Основным сдерживающим фактором внедрения полуавтоматов с МПУ на предприятиях легкой промышленности является производство оснастки для них. Технологическая оснастка к швейным полуавтоматам в значительной степени определяют стоимость и качество выпускаемой продукции. Это объясняется сложностью ее изготовления (для ее получения необходимы станки с МПУ и дорогостоящий инструмент, как правило, фрезы), кроме того, в настоящее время пластины технологической оснастки изготавливаются из дорогостоящих материалов (алюминиевых сплавов). Следует также отметить, что для изготовления технологической оснастки на фрезерных станках с МПУ необходимы большие затраты времени, что в современных рыночных условиях является нежелательным.

Кардинальное повышение производительности, уменьшение себестоимости и существенное улучшение качества продукции может быть достигнуто при использовании на швейных полуавтоматах с программным управлением качественной и недорогой технологической оснастки.

Кафедрой машин и аппаратов легкой промышленности УО «ВГТУ» предложен способ изготовления кассет из пластин пластика ПВХ непосредственно на швейном полуавтомате с использованием специального инструмента – пробойника, который устанавливается в отверстие игловодителя.

Данный метод обеспечивает простоту изготовления и низкую стоимость оснастки. Однако возникает проблема, связанная с невысокой точностью изготовления криволинейного контура, что является следствием несовершенства технологии обработки, конструкции режущего инструмента и свойствами материала пластины.

Для оптимизации режимов обработки, геометрии режущего инструмента необходимо располагать точными данными в виде характеристик поведения во время резания технологической рабочей пары «инструмент – заготовка». Обширные знания и результаты, полученные при исследованиях в области резания металлов, не могут быть непосредственно перенесены на пластмассы, так как эти материалы имеют иную структуру.

Одним из важных параметров при обработке резанием являются силы: их знание необходимо для правильной эксплуатации оборудования и инструмента. Зная величину усилий резания и характер их изменения, можно наиболее рационально организовать технологический процесс изготовления

технологической оснастки на швейном полуавтомате.

Постановка задачи

В настоящей работе поставлена задача определения сил резания, возникающих в процессе обработки пластин ПВХ технологической оснастки на швейном полуавтомате. При этом пластина перемещается по заданной программе с помощью координатного устройства швейного полуавтомата. Имеется незначительное число работ, посвященных механическому резанию пластмасс [1, 2], работ же, посвященных обработке пластмасс методом пробивки пробойником на швейном полуавтомате с МПУ, вообще нет.

Результаты исследования

Схема взаимодействия пробойника и пластины из пластика ПВХ во время обработки на швейном полуавтомате с МПУ показана на рисунке 1. Пластина 4 из ПВХ, закрепляется в кассете (на рис. 1 не показана), кассета закрепляется в каретке координатного устройства и перемещается в старт-стопном режиме по заданной программе. В процессе перемещения кассета скользит по поверхности игольной пластины 3. Пробойник 1 опускается вниз и пробивает отверстие в пластине ПВХ 4, образуя стружку 5. В момент пробивки пластина 4 неподвижна. Достигнув крайнего нижнего положения, пробойник 1 перемещается вверх. Перемещение листа ПВХ кареткой координатного устройства на величину подачи производится в периоды, когда пробойник 1 не контактирует с пластиной 4. Следует отметить, что во время резания лист ПВХ 4 прижат лапкой 2 к игольной пластине 3 с усилием Q .

В процессе резания пластика возникает сложное неоднородное силовое поле, сконцентрированное вблизи режущих кромок пробойника 1 и игольной пластины 3 (рис.1). В момент резания пластика ПВХ на пробойник действуют силы, приложенные к его передним и задним поверхностям, при этом их соотношение и величина будут изменяться в зависимости от режимов обработки. В нашем случае основной интерес представляет главная составляющая силы резания – P_z , соответствующая усилию пробивания P_p (см. рис. 1). Очевидно, что она будет оказывать основное влияние на процессы, происходящие во время обработки, а также на узлы и механизмы швейного полуавтомата.

Силу резания при обработке пластины ПВХ технологической оснастки на швейном полуавтомате при изменяемых условиях обработки в нашем случае целесообразно определять экспериментальным путем, так как аналитически рассчитать их в настоящее время затруднительно. Кроме того имеющиеся уравнения [2] не позволяют в полной мере учесть влияние всех факторов, влияющих на процесс резания, и не раскрывают физическую сущность процесса резания.

Для экспериментального определения сил резания использована методика тензометрического исследования, активно применяемая для схожих исследований при проколе иглой с разной заточкой разных материалов легкой промышленности [2–4]. Реализация данного метода в исследовании позволит собрать значительный объем информации о физических процессах, происходящих в структуре материала, и количественно оценить величину сил резания и характер их изменения в зависимости от режимов обработки.

Экспериментальная установка была собрана на базе швейного полуавтомата ПШ–1 (оригинальной конструкции совместного производства кафедры машин и аппаратов легкой промышленности УО «ВГТУ» и Научно-производственного опытно-конструкторского бюро машиностроения г. Витебска). Схема установки показана на рисунке 2.

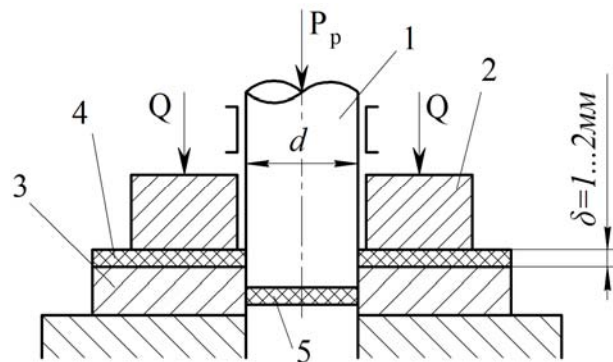


Рис. 1. Схема сил, действующих на заготовку при пробивке материала

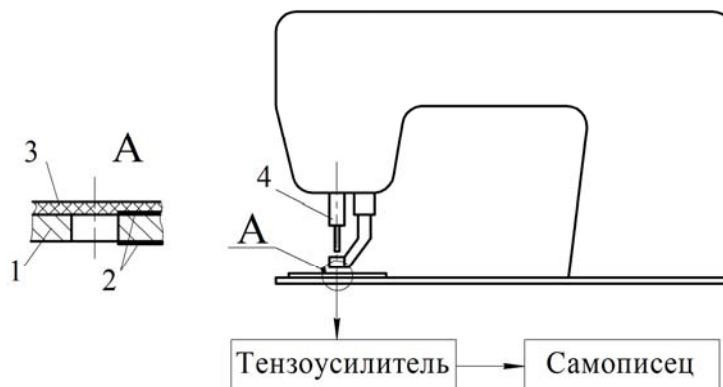


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования

Методика проведения эксперимента следующая. С двух сторон игольной пластины 1 (рис. 2) установлены тензодатчики 2 (ГОСТ 30129-96), которые подключаются по мостовой схеме. Для усиления сигнала при небольших изгибах игольной пластины установлен усилитель унифицированный полупроводниковый, класс точности 2,0 (ГОСТ 8.401-80). Выходные сигналы с него поступают на прибор самопишущий быстродействующий НЗ27-3 (класс точности 1,5 (ГОСТ 8.401-80)), где преобразуются в графическую информацию на бумажном носителе.

В результате взаимодействия пробойника 4 (рис. 2) и пластины 3 из листа ПВХ во время обработки игольная пластина 1 деформируется, причем деформации зависят от сил резания и от физических свойств листа ПВХ. За счет деформации игольной пластины происходит изменение сопротивления тензодатчиков. Снятый с мостовой схемы ток усиливается и передается на самописец, который в конечном счете фиксирует прогиб игольной пластины в относительных величинах. Так как воспринимающие элементы работают в зоне упругих деформаций (усилия сжатия меньше усилий, соответствующих пределу пропорциональности), то после снятия нагрузки игольная пластина вернется в первоначальное положение.

Экспериментальное исследование проводилось при толщине пластика ПВХ $\delta = 1$ мм и величиной подачи кассеты $S = 0,5$ мм/дв. ход, а также при различной частоте вращения главного вала швейного полуавтомата ПШ-1, которая изменялась в диапазоне от 200 до 1200 об/мин. Всем значениям частоты вращения главного вала в соответствие следует поставить значения линейной скорости режущего инструмента (пробойника) при входе его в пластину кассеты из листа ПВХ по формуле

$$V = \frac{\pi n R}{30}, \quad (1)$$

где V – линейная скорость пробойника при входе его в пластину кассеты, м/с;

n – частоты вращения главного вала швейной головки полуавтомата, об/мин;

R – радиус кривошипа, м; для швейной машины 31 конструктивно-унифицированного ряда ОАО «Легмаш», используемой в качестве швейной головки полуавтомата ПШ-1 $R = 0,0175$ м.

Изменение скорости было ступенчатым, регулировка проводилась с помощью автоматизированного привода швейной головки полуавтомата. Пробойник представлял собой стержень диаметром 2 мм (рис. 1), рабочий торец которого не имел фасок. Таким образом, форма режущей части пробойника, выбранная в эксперименте, цилиндрическая.

На рисунке 3 приведен фрагмент полученной в ходе эксперимента профилограммы изменения усилия резания в течение рабочего хода. Каждая вершина профилограммы соответствует усилию на пробойнике при снятии припуска за один проход. Кривая 1 отражает возрастание нагрузки от нуля до максимального значения P_{\max} , соответствующего окончанию пластической стадии процесса резания. Перегиб кривой характеризует возникновение скалывающихся трещин у режущих кромок пробойника и игольной пластины. Вертикальная линия 2 соответствует окончанию вырубki, резкому падению усилия и разгрузке на игловодителе. Остальная часть профилограммы фиксирует вибрации системы и проталкивание стружки в игольную пластину. При последующих проходах инструмента сила резания P_p несколько меньше, чем при первом проходе (P_{\max}). Этот факт объясняется тем, что во время первого прохода снимается стружка большой площади (ее величина зависит только от диаметра пробойника), при последующих проходах площадь снимаемой стружки значительно уменьшается и определяется величиной подачи S . Сила резания P_p , необходимая для обработки одного паза кассеты, при втором и последующих проходах остается относительно постоянной.

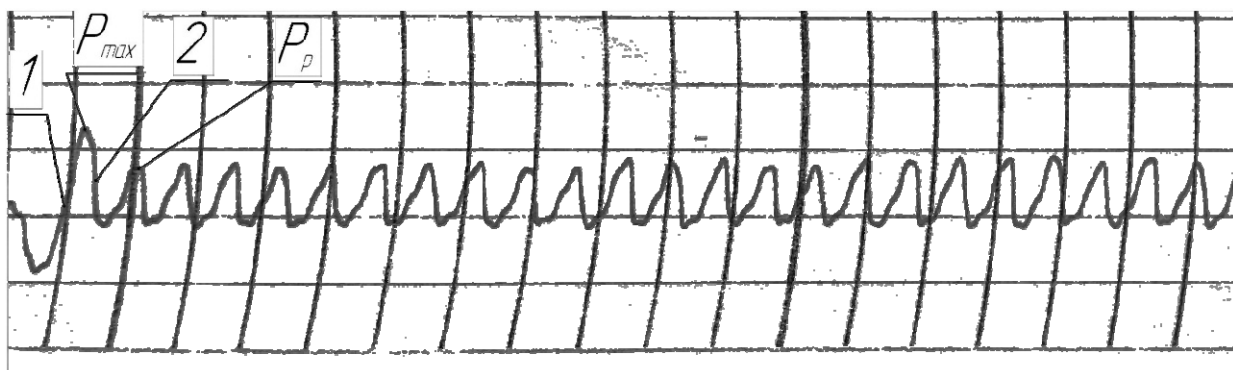


Рис. 3. Профилограмма усилия вырубki на протяжении рабочего хода

Для расшифровки профилограммы сил резания P_{\max} , P_p , (рис. 3), и получения их численного значения, построен тарировочный график. Для этого игольная пластина нагружалась грузом известной массы, в результате чего перо самописца отклонялось на некую величину. Профилограмма для построения тарировочного графика показана на рисунке 4, а сам тарировочный график приведен на рисунке 5.

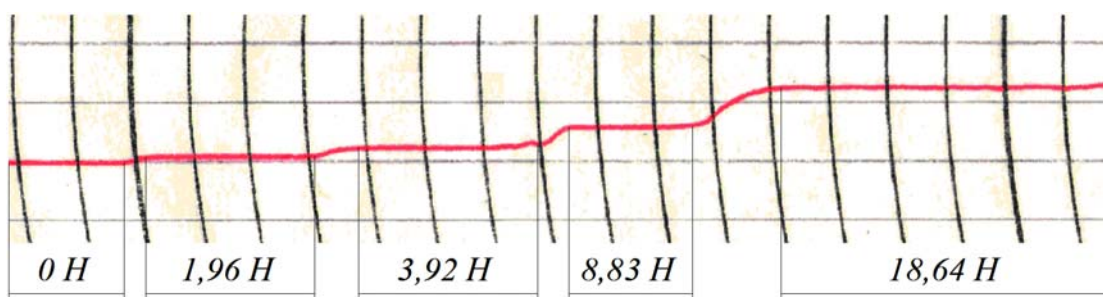


Рис. 4. Профилограмма для построения тарифовочного графика

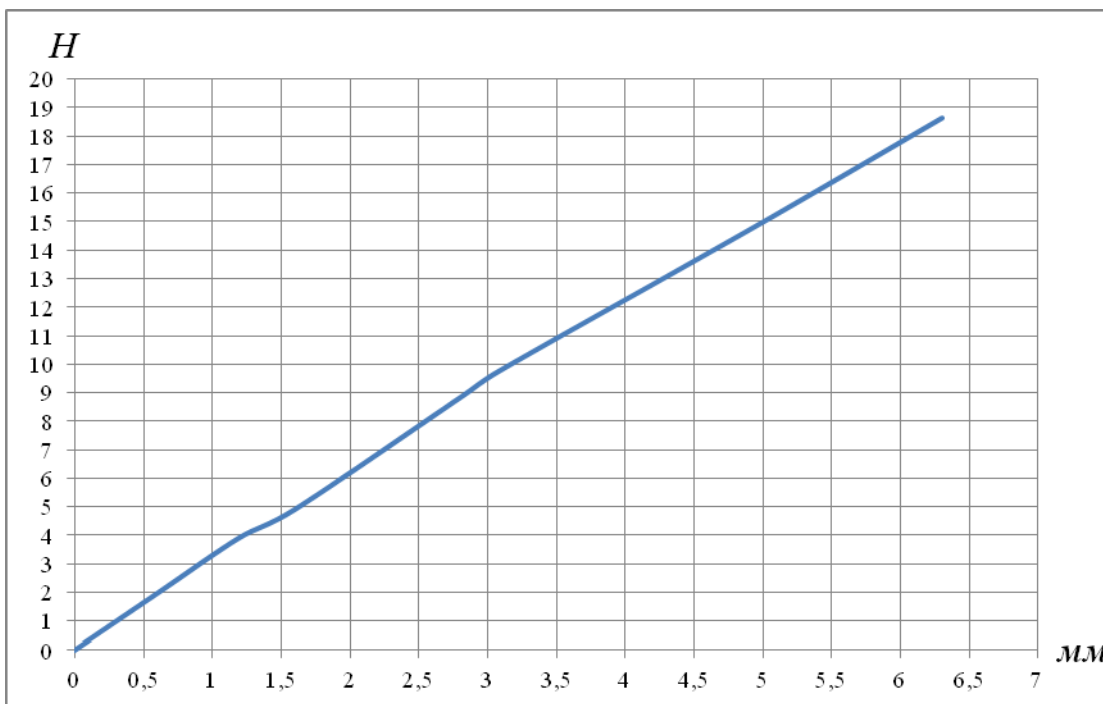


Рис. 5. Тарифовочный график

Сопоставив значения полученных профилограмм силы резания на протяжении рабочего хода (фрагмент см. на рис. 3) при различных скоростях обработки, и значений тарифовочного графика (рис. 6) можно построить графики зависимости сил резания P_{max} и P_p пластины кассеты из листа ПВХ от скорости резания пробойником (рис. 6).

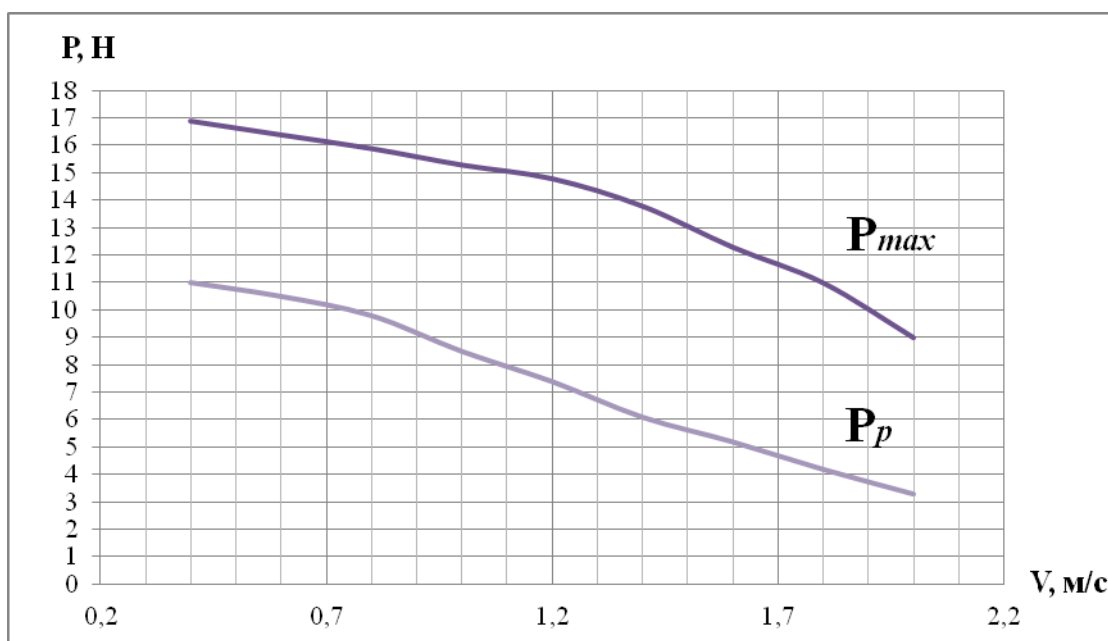


Рис. 6. График зависимости сил резания от скорости резания

Из графиков зависимости сил резания от скорости резания (рис. 7) видно, что с увеличением скорости обработки силы резания P_{\max} и P_p уменьшаются. Во время первого прохода пробойника сила резания достигает своего максимального значения (характер изменения этой силы на графике показан кривой P_{\max}). При дальнейшей обработке паза сила резания уменьшается примерно в 2 раза (характер изменения этой силы на графике показан кривой P_p).

Еще одним важным результатом полученных силовых границ процесса резания при изготовлении технологической оснастки служит тот факт, что силовое нагружение, необходимое для процесса, позволяет использовать в качестве оборудования сам швейный полуавтомат, что делает систему изготовления оснастки гибкой производственной системой. Такая возможность позволяет отказаться обувному предприятию от применения дорогостоящего станочного оборудования с ЧПУ для изготовления технологической оснастки.

Вывод

В ходе работы разработана методика экспериментального исследования усилия резания пластин кассет технологической оснастки из листа ПВХ пробойниками с цилиндрической режущей частью на швейном полуавтомате с МПУ.

Получены численные значения сил резания пластины кассеты из листа ПВХ толщиной $\delta = 1$ мм и величиной подачи $S = 0,5$ мм/дв. ход при различных скоростях обработки. Установлена линейно понижающая зависимость сил резания от скорости пробойника. Полученный диапазон необходимых сил резания доказывает возможность использования в качестве технического средства для изготовления оснастки сам полуавтомат.

Литература

1. Штучный Б. П. Обработка пластмасс резанием : справочное пособие / Б. П. Штучный. – М. : Машиностроение, 1974. – 144 с.
2. Житник Н. И. Справочник по обработке пластмасс / Н. И. Житник, М. А. Герасько, Б. П. Штучный. – К. : Техника, 1988. – 160 с.
3. Гарбарук В. Н. Прокалывание текстильных материалов иглой / В. Н. Гарбарук // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1975. – № 5. – С. 84–90.
4. Манзюк Э. А. Общая постановка задачи определения усилия прокола при стачивании материалов иглой с острием произвольной заточки / Э. А. Манзюк, П. И. Капустенский // Вестник Хмельницкого национального университета. – 2005. – № 6. Т. 2. – С. 47–50.
5. Зайцев Б. А. Прокалывание натуральной кожи иглой с овальной заточкой. Сообщение 1 / Б. А. Зайцев, М. В. Аревова, Е. Н. Гаврилов, А. Ю. Аревова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1980. – № 4. – С. 109–113.
6. Зайцев Б. А. Прокалывание натуральной кожи иглой с овальной заточкой. Сообщение 2 / Б. А. Зайцев, М. В. Аревова, Е. Н. Гаврилов, А. Ю. Аревова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1980. – № 5. – С. 130–133.

Рецензія/Peer review : 17.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Горбачик В.Е.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ НА СТАДІЯХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ І ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗРОБОК

У роботі розглядається методичне розв'язання задачі щодо визначення оптимального рівня якості виробів на стадіях науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок. У результаті вирішення сформульованого завдання запропоновані рішення, які визначають оптимальні значення якісних показників виробів, терміни розробки та освоєння серійного випуску, оптимальний розподіл матеріальних і трудових ресурсів на різних стадіях життєвого циклу виробів.

Ключові слова: якість виробів, науково-дослідні розробки, дослідно-конструкторські розробки

M.A. ZENKIN, O.V. BORKO, A.S. ZENKIN

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

DETERMINATION OF THE OPTIMUM LEVEL OF PRODUCTS QUALITY IN THE STAGES OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND RESEARCH-DESIGN DEVELOPMENT

The aim of research is to determine the optimal level of quality of products that developed and produced. In this article the optimal value of each quality indicators of product are determined; the functions of wastes of products consumer properties are constructed rejecting each of the quality indicators of their optimal values in either direction. Criteria of quality optimal level of developed products and mathematical programming problem are formulated. There are proposed the solutions that determine the optimal values of quality indicators of products that are developed and manufactured, development time and batch release, optimal distribution of material and human resources at different stages of products life cycle. The accounting treatment of problem decision as to determine the optimal level of quality of products that produced are described and the optimum values of quality indicators of products are determined in the article.

Keywords: quality of products, scientific-research development, research-design development

Вступ

Якість продукції машинобудування національного виробника є пріоритетним у міжнародній конкурентній боротьбі. Для України проблема якості особливо актуальна, так як однією із складових успішного виходу українського машинобудування у відкритий міжнародний торгівельно-економічний простір є випуск конкурентоспроможної продукції [5, 9].

Для підвищення якості продукції велике значення має встановлення її оптимального рівня (особливо на етапі її формування), при якому потреби народного господарства та населення задовольняються найменшими витратами суспільної праці [7]. Найбільш відповідальним етапом формування якості продукції, що випускається, є науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки (НДР і ДКР), у процесі яких визначається економічно доцільний і технічно допустимий рівень якості розроблюваних виробів, а також перелік регламентованих державними, галузевими і заводськими стандартами якісних показників, допустимі їх граничні значення. Визначення ефективності НДР на різних рівнях суспільного виробництва дозволяє раціонально розподіляти обсяги фінансування, науковий потенціал, сприяє розвитку науково-технічного прогресу [2, 3].

Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень

У результаті опрацювання літературних даних [3, 8] встановлено, що визначення оптимального рівня якості розроблюваних виробів тісно пов'язане з визначенням продукції, що випускається, вимогами замовника, прогнозом необхідних обсягів серійного виробництва, передбачуваного ринку виробів, які виділяються підприємству додатковими матеріальними та трудовими ресурсами на технічне переозброєння, реконструкцію і технологічну підготовку виробництва, а також із забезпеченням серійного випуску, встановленими термінами освоєння серійного випуску, з передбачуваною ціною на виріб на зовнішньому і внутрішньому ринках та з багатьма іншими факторами.

Методологічні підходи до оцінки цих видів робіт були сформовані наприкінці 80-х років, але з тих часів економічне середовище, у якому здійснюються наукові дослідження, потерпіло істотні зміни. Тепер необхідні нові підходи до оцінки результативності НДР. Крім перерахованих проблем істотний інтерес викликають питання, пов'язані з оцінкою ефективності НДР, проведених у вищих навчальних закладах України за рахунок державних грантів. Ці питання неодноразово піднімалися на різноманітних наукових форумах, проте загальна думка дотепер не сформована.

Запропонована нами методика, основні положення якої викладено у статті, може стати внеском в удосконалення існуючої методології розрахунку ефективності НДР, у першу чергу, в вищих навчальних закладах.

У роботах [1, 3, 5] показано, що для оцінки науково-технічного рівня результатів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) слід відібрати декілька найбільш істотних технічних параметрів, у яких найбільш зацікавлені майбутні користувачі технологій, продукції, послуг, способів виконання робіт. Зокрема, це може бути продуктивність, надійність в експлуатації, енерго- і матеріаломісткість, показники ергономічності та екологічності. Інші параметри (особливо технічні) повинні знаходитися у межах певних стандартів чи загальноприйнятого рівня і використовуватися в оцінці як

обмеження.

Оцінка науково-технічного рівня результатів НДДКР включає виконання таких етапів:

- визначення сукупності необхідних нормативно-правових документів, що відображають вимоги до нової продукції, особливо стосовно екології та безпеки, що пред'являються у країнах її можливого продажу та фірмами-конкурентами, міжнародні вимоги;
- визначення переліку технічних і техніко-економічних показників, необхідних для оцінки науково-технічного рівня;
- формування групи аналогів, що реалізуються на світовому (вітчизняному) ринках, і встановлення значень їх техніко-економічних показників;
- співставлення значень параметрів майбутньої нової продукції, яка буде одержана у результаті виконання НДДКР, з вимогами нормативних документів (міжнародних, регіональних, національних стандартів) і параметрами аналогів.

Незважаючи на значну кількість публікацій [1–4] про підвищення якості продукції машинобудування як найважливішого резерву економічного зростання підприємства, складний і суперечливий характер взаємозв'язку ефективності виробництва і якості продукції, визначення оптимального рівня якості виробів на етапах їх виробництва, а також вплив механізму управління якістю на кінцеві результати на стадіях проектування, виробництва (у т.ч. на стадіях науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок) та експлуатації недостатньо вивчені. Тому визначення оптимального рівня якості продукції машинобудування, що розробляється (на стадії науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробках) є актуальною проблемою досліджень сьогодення.

Найбільш відповідальним етапом формування якості продукції, що випускається, є науково-дослідні і дослідно-конструкторські розробки. У ході них оцінюється економічно доцільний і технічно допустимий рівень якості виробів, що розробляються, визначається перелік регламентованих державними, галузевими і заводськими стандартами якісних показників, їх допустимі значення.

Науково-технічний рівень результатів наукових досліджень визначають за ознаками, які порівнюють, у тому числі й з вітчизняними аналогами, що дозволяє виявити на скільки ці результати перевищують кращі світові аналоги, відповідають світовому рівню, і є нижчими за кращі світові аналоги.

Усе вище викладене дозволило сформулювати мету та подальші завдання досліджень.

Метою роботи є розробка методики вирішення задач щодо визначення оптимального рівня якості виробів на етапі науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок та їх формування для підвищення якості і конкурентоспроможності машинобудівної продукції, що випускається.

Для вирішення поставленої мети передбачено очевидно вирішення цілого ряду задач:

- визначити оптимальні значення якісних показників виробів та побудувати функції втрат споживчих властивостей виробу при відхиленні кожного з якісних показників від їх оптимальних значень;
- необхідно сформулювати критерії оптимального рівня якості розроблюваних виробів та завдання математичного програмування;
- і в результаті запропонувати рішення, які визначають оптимальні значення якісних показників виробів, що розробляються і випускаються, терміни розробки та освоєння серійного випуску, оптимальний розподіл матеріальних і трудових ресурсів на стадіях науково-дослідних та дослідно-конструкторських розробок.

Результати проведених досліджень

Приймаючи за основу, що у цих умовах завдання визначення оптимального рівня якості розроблюваних виробів може бути сформульоване у вигляді завдання багатокритеріальної оптимізації, нехай якість розроблюваного виробу характеризується цілою сукупністю якісних показників $Y_i, i = 1, \dots, m$.

На підставі аналізу кращих вітчизняних і світових досягнень у цій галузі, для прогнозування технічного рівня виробів на перспективу можуть бути визначені оптимальні значення кожного з якісних показників виробу $V_i, i = 1, \dots, m$, а також побудовані функції втрат споживчих властивостей виробу (у вартісному вираженні) при відхиленні кожного з якісних показників від їх оптимальних значень у ту чи іншу сторону.

$$C = \psi(v_1 - Y_1, v_2 - Y_2, \dots, v_i - Y_i, \dots, v_m - Y_m, Y_1 - v_1, \dots, Y_i - v_i, \dots, Y_m - v_m)$$

Для спрощення зробимо припущення, що розглянуті функції втрат є адитивними:

$$C_{1i} = \psi_{1i}(V_i - Y_i), C_{2i} = \psi_{2i}(Y_i - V_i), i = 1, \dots, m, C = \sum_{i=1}^m (C_{1i} + C_{2i})$$

Відповідно до призначення і технічних умов на розроблювані вироби всі якісні показники можуть бути проранговані за ступенем важливості на підставі думки експертів.

Нехай рангувальний ряд, в якому можуть бути виділені також рівнозначні за рівнем важливості показники, має вигляд:

$$I = \{[i_1, i_2, \dots, i_{L1}] > [i_{L1+1}, \dots, i_{L2}] > \dots [i_{Ll+1}, \dots, i_m]\} \quad (1)$$

Крім того, для окремих якісних показників можуть бути встановлені верхні та нижні граничні значення d_{1i}, d_{2i} , за межами яких продукція перестане задовольняти своє призначення. Отже, при

встановленні оптимального рівня якості виробів на значення y_i повинні бути накладені обмеження:

$$d_{1i} \leq y_i \leq d_{2i}, i = 1, \dots, m \tag{2}$$

Зауважимо, що, якщо такі обмеження не накладаються, то у виразі можна поставити $d_{1i} = -\infty, d_{2i} = \infty$, а також зазначимо, що обмеження (2) можуть бути відображені відповідною побудовою функцій C_{1i}, C_{2i} , тобто

$$\begin{aligned} C_{1i} &= \psi_{1i}(V_i - Y_i) = -\infty, \text{ якщо } y_i < d_{1i} \\ C_{2i} &= \psi_{2i}(V_i - Y_i) = \infty, \text{ якщо } y_i > d_{2i} \end{aligned} \tag{3}$$

Нехай, крім того, побудовані (для встановлених обсягів виробництва виробів, виходячи з потреб народного господарства) функції граничних відхилень якісних показників від їх оптимальних значень залежно від витрат різного виду матеріальних і трудових ресурсів на всіх стадіях життєвого циклу виробу в процесі розробки, підготовки виробництва, серійного випуску, забезпечення гарантійного обслуговування виробів:

$$V_i - Y_i = f_{1i}^{\tau}(x_{1i}^{\tau}, x_{2i}^{\tau}, \dots, x_{ni}^{\tau}), \quad Y_i - V_i = f_{2i}^{\tau}(x_{1i}^{\tau}, x_{2i}^{\tau}, \dots, x_{ni}^{\tau}), \quad \tau = 1, 2, 3, 4; i = 1, \dots, m \tag{4}$$

Тут $\tau = 1$ відповідає стадії НДР, ДКР, виготовлення та випробування дослідного зразка, $\tau = 2$ - підготовки виробництва, $\tau = 3$ - забезпечення серійного випуску (витрати на рік), $\tau = 4$ - забезпечення гарантійного обслуговування. Зауважимо, що витрати різного виду матеріальних і трудових ресурсів для забезпечення серійного випуску виробів у запланованому обсязі зі встановленим рівнем якості не є рівномірними по роках серійного випуску і можуть враховуватися функціями:

$$\begin{aligned} V_i - Y_i &= f_{1i}^{3\theta}(x_{1i}^{3\theta}, x_{2i}^{3\theta}, \dots, x_{ni}^{3\theta}), \\ Y_i - V_i &= f_{2i}^{3\theta}(x_{1i}^{3\theta}, x_{2i}^{3\theta}, \dots, x_{ni}^{3\theta}), \\ \theta &= 1, \dots, T, i = 1, \dots, m \end{aligned} \tag{5}$$

Аналогічним чином слід враховувати витрати ресурсів на забезпечення гарантійного обслуговування.

Крім того, можуть бути побудовані функції тривалості НДР і ДКР, підготовки виробництва та освоєння серійного випуску залежно від встановлених якісних показників розроблених виробів і використовуваних відповідно до виразів (3) ресурсів.

$$t^{\tau} = \varphi^{\tau}(V_i - Y_i, \dots, V_m - Y_m, x_{1L}^{3\theta}, \dots, x_{n1}^{3\theta}, \dots, x_{1m}^{3\theta}, \dots, x_{nm}^{3\theta}), \tau = 1, 2, 3 \tag{6}$$

Нехай відпускна ціна виробів залежить від їх якісних показників та року серійного випуску і залежність ця має вигляд:

$$C^{\theta} = \varphi^{\theta}(v_1 - y_1, v_2 - y_2, \dots, v_m - y_m, y_1 - v_1, \dots, v_m - y_m), \theta = 1, \dots, T \tag{7}$$

На витрати матеріальних ресурсів (як у вартісних, так і у натуральних показниках) на різних стадіях життєвого циклу виробів і на час, відведений для освоєння серійного випуску виробів у запланованих обсягах $B^{\theta}, \theta = 1, \dots, T$, накладаються обмеження, які можуть бути записані в вигляді:

$$\max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{\tau} \leq b_j^{\tau}, j = 1, \dots, n, \tau = 1, 2, 3 \tag{8}$$

$$\max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{4\theta} + \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{\theta} \leq b_j^{\theta}, j = 1, \dots, n, \theta = 1, \dots, T \tag{9}$$

$$\sum_{j=1}^n a_j * \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{\tau} \leq A^{\tau}, \tau = 1, 2, 4 \tag{10}$$

$$\sum_{j=1}^n \left(\max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{3\theta} + \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{4\theta} \right) * \alpha_j^{\theta} \leq A^{\theta}, \theta = 1, \dots, T \tag{11}$$

$$\sum_{\tau=1}^3 t^{\tau} \leq W \tag{12}$$

де $\alpha_j, \alpha_j^{\theta}$ - вартість одиниці ресурсів j -го виду відповідно на стадіях НДР і ДКР, підготовки і технічного переозброєння виробництва та освоєння серійного випуску, а також протягом серійного випуску виробів (по роках);

W - директивний термін освоєння серійного випуску виробів.

Критерій оптимального рівня якості розроблених виробів сформулюємо у вигляді функціоналу сумарно приведенного прибутку за період життєвого циклу виробів, який позначимо у вигляді:

$$F(T) = \sum_{\theta=1}^T \left[B^{\theta} * \varphi^{\theta}(v_1 - y_1, \dots, v_m - y_m, y_1 - v_1, \dots, v_m - y_m) - \sum_{j=1}^n \left(\max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{3\theta} + \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{4\theta} \right) * \alpha_j^{\theta} \right] - \tag{13}$$

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j \left(\max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^1 + \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^2 \right)$$

Економічно доцільний оптимальний рівень якості розроблюваних виробів та потреба у матеріальних і трудових ресурсах на різних стадіях життєвого циклу виробів і по роках серійного випуску може бути знайдена у результаті вирішення завдання мінімізації функціоналу (13) в умовах обмежень (2), (4), (6), (8) - (12) і зводиться, у загальному випадку, до багато екстремального завдання математичного програмування щодо змінних $y_i, i = 1, \dots, m, x_{ji}^\tau, x_{ji}^{3\theta}, x_{ji}^{4\theta}, t^\tau, j = 1, \dots, n, \tau = 1, 2, 4, 0 = 1, \dots, T$.

У цьому випадку функціонал сумарно приведенного прибутку за період життєвого циклу виробу має вигляд:

$$F(T) = \sum_{\theta=1}^T \left\{ \left[B^\theta * \varphi^\theta(v_1 - y_1^\theta, v_2 - y_2^\theta, \dots, v_m - y_m^\theta, y_1^\theta - v_1, \dots, y_m^\theta - v_m) - \sum_{j=1}^n * \alpha_j \sum_{\tau=1}^4 \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{\tau\theta} \right] - \left[\sum_{j=1}^n * \alpha_j \left(\max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^1 + \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^2 \right) \right] \right\} \quad (14)$$

а обмеження завдання - (2), (4), (6), (12) і

$$\sum_{\tau=1}^4 \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{\tau\theta} \leq b_j^\theta, j = 1, \dots, n, \theta = 1, \dots, T \quad (15)$$

$$\sum_{\theta=1}^T \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{\tau\theta} \leq b_j^\tau, j = 1, \dots, n, \tau = 1, 2, 4 \quad (16)$$

$$\sum_{\theta=1}^T * \alpha_j^{\theta\tau} \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{\tau\theta} + \alpha_j \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^\tau \leq A^\tau, \tau = 1, 2, 4 \quad (17)$$

$$\sum_{\tau=1}^4 \sum_{j=1}^m \alpha_j^{\theta\tau} * \max_{1 \leq i \leq m} x_{ji}^{\tau\theta} \leq A^\theta, 1, \dots, T \quad (18)$$

Розглянуті вище завдання можуть бути узагальнені для випадку, коли виробниче об'єднання розробляє, здійснює підготовку виробництва та освоєння серійного випуску цілої групи виробів, $\lambda = 1, \dots, L$. При цьому терміни освоєння серійного випуску, обсяги виробництва по роках для кожного виробу і сумарні витрати кожного виду ресурсів обмежуються вищестоящими органами. У цьому випадку визначення оптимального рівня всіх розроблюваних та випущених виробів, а також розподіл матеріальних і трудових ресурсів по роках розробки і випуску зводяться до вирішення задачі математичного програмування виду:

$$F(T) = \sum_{\lambda=1}^L \left\{ \left[B_\lambda^\theta * \psi_\lambda^\theta(v_{1\lambda} - y_{1\lambda}^\theta, v_{2\lambda} - y_{2\lambda}^\theta, \dots, v_{m\lambda} - y_{m\lambda}^\theta, y_{1\lambda}^\theta - v_{1\lambda}, \dots, y_{m\lambda}^\theta - v_{m\lambda}) - \sum_{j=1}^n * \alpha_j \sum_{\tau=1}^4 \max_{1 \leq i \leq m\lambda} x_{\lambda ji}^{\tau\theta} \right] - \left[\sum_{j=1}^n * \alpha_j \left(\max_{1 \leq i \leq m\lambda} x_{\lambda ji}^1 + \max_{1 \leq i \leq m\lambda} x_{\lambda ji}^2 \right) \right] \right\} \quad (19)$$

$$d_{\lambda i} \leq y_i \leq d_{\lambda 2i}, i = 1, \dots, m_\lambda, \lambda = 1, \dots, L \quad (20)$$

$$\sum_{\lambda=1}^L \sum_{\tau=1}^4 \max_{1 \leq i \leq m} x_{\lambda ji}^{\theta\lambda} \leq b_j^\theta, j = 1, \dots, n, \theta = 1, 2, \dots, T \quad (21)$$

$$\sum_{\theta=1}^T \sum_{\lambda=1}^L \max_{1 \leq i \leq m} x_{\lambda ji}^{\theta\lambda} \leq b_j^\tau, j = 1, \dots, n, \tau = 1, 2, 4 \quad (22)$$

$$\sum_{\lambda=1}^L \sum_{\theta=1}^T \alpha_j^{\theta\tau} \max_{1 \leq i \leq m\lambda} x_{\lambda ji}^{\tau\theta} + \alpha_j \max_{1 \leq i \leq m\lambda} x_{\lambda ji}^\tau \leq A^\tau, \tau = 1, 2, 4 \quad (23)$$

$$\sum_{\lambda=1}^L \sum_{j=1}^n \alpha_j^{\theta\tau} \max_{1 \leq i \leq m\lambda} x_{\lambda ji}^{\tau\theta} \leq A^\theta, 1, \dots, T \quad (24)$$

$$\sum_{\tau=1}^3 t_\lambda^\tau \leq W_\lambda, \lambda = 1, \dots, L \quad (25)$$

Вирішення завдань (19)–(25) або (2), (4), (6), (12), (14)–(18) може здійснюватись діалоговими методами оптимізації [6, 8].

У результаті вирішення сформульованого завдання математичного програмування частина обмежень (20)–(25) виконуються як строгі рівності. Експерти, оцінюючи отримані результати, можуть послабити або посилити деякі граничні значення на якісні показники окремих виробів (обмеження (20)), або на терміни освоєння їх серійного випуску, на сумарні витрати і трудові ресурси на різних стадіях життєвого циклу виробів. Вносячи корективи в обмеження завдань і отримуючи нові рішення, експерти оцінюють результат з точки зору можливості при внесенні зміни умов завдання досягти суттєвого поліпшення якісних показників найважливіших виробів, істотного скорочення термінів їх розробки та освоєння серійного випуску, зниження матеріальних і трудових витрат. У процесі внесення коректив всі варіанти, які варті уваги, зберігаються у пам'яті ЕОМ і служать підставою при підготовці обґрунтувань для вищих органів з

метою зміни технічних вимог на розроблювані вироби, збільшення обсягів виділених матеріальних чи трудових ресурсів на окремі планові періоди, збільшення термінів на розробку та освоєння серійного випуску.

Варто зазначити, що у цілому ряді випадків якості виробів визначається головним чином лише деякою групою найважливіших показників значення, які повинні оптимізуватися у першу чергу. На досягнення цих цілей слід головним чином спрямувати основні обсяги виділених матеріальних і трудових ресурсів, вимагаючи при цьому досягнення значень інших якісних показників в умовах граничних значень (2). При цьому ступінь важливості різних якісних показників визначається рангувальним рядом (1), і оптимізація значень групи якісних показників, що стоять правіше у рангувальному ряду, повинна досягатися за умови того, що при цьому не погіршиться значення більш важливих якісних показників. Задоволення цих вимог досягається застосуванням у завданнях визначення оптимального рівня якості розроблюваних виробів методів лексикографічного впорядкування у задачах багатокритеріальної оптимізації [2] або методів послідовних вчинків [6].

У цих умовах вирішення завдання визначення оптимального рівня якості розроблюваних виробів і виробів, що випускаються має здійснюватися за наступною методикою.

Нехай при одночасній розробці та випуску цілого ряду виробів рангувальний ряд, який визначає ступінь важливості окремих показників і виробів, має вигляд:

$$M = \left\{ \begin{aligned} & \left[(i_1, I_1^1), \dots, (i_1, I_k^1), \dots, (i_L, I_k^L), \dots, (i_L, I_k^L) \right] \succ \left[(i_1, I_{k+1}^1), \dots, (i_1, I_s^1), \dots, (i_L, I_{k+1}^L), \dots, (i_L, I_s^L) \right] \\ & \succ \left[(i_1, I_{p+1}^1), \dots, (i_1, I_m^1), \dots, (i_L, I_m^L) \right] \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

де i_1, \dots, i_L – індекси виробів, що випускаються і розробляються,

I_s^1 – індекс s -го якісного показника I -го виробу.

Квадратними дужками об'єднані у групи якісні показники різних виробів, однакові за ступенем важливості. В окремому випадку, окремі групи можуть складатися лише з одного показника єдиного виробу, декількох показників тільки одного виробу, одного показника декількох виробів. Позначимо $M_\rho, \rho = 1, \dots, R$, - безліч (λ, i) (i_π, I_ν^π) , що входять в ρ^{-10} за ступенем важливості групу. Вирішення завдання здійснюється у кілька етапів. На першому етапі формулюється і вирішується завдання математичного програмування виду:

$$\Phi_1 = \sum_{(\lambda, i) \in M_1} [\psi_{1i}^\lambda (V_i^\lambda - Y_i^\lambda) + \psi_{2i}^\lambda (Y_i^\lambda - V_i^\lambda)] \rightarrow \min \quad (27)$$

за умови виконання всієї системи обмежень (20) - (25).

У результаті вирішення сформульованого завдання визначаються оптимальні значення групи якісних показників виробів, що входять у першу за ступенем важливості групу, тобто значення $y_{i,1}^\lambda, (i, \lambda) \in M_1$. Експерт, оцінюючи отримані на першому етапі результати, призначає допустимі відхилення (в ту і іншу сторону $\Delta Y_1, \Delta Y_2$) окремих якісних показників і критерії оптимальності Φ_1 від їх оптимальних значень Y_{i1}^λ і Φ_1^* , після чого формулюється і вирішується завдання другого етапу:

$$\Phi_2 = \sum_{(\lambda, i) \in M_2} [\psi_{1i}^\lambda (V_i^\lambda - Y_i^\lambda) + \psi_{2i}^\lambda (Y_i^\lambda - V_i^\lambda)] \rightarrow \min \quad (28)$$

За умов (20)–(25) і додаткових вимогах:

$$Y_{i,1}^\lambda - \Delta Y_{i1}^\lambda \leq Y_i^\lambda \leq Y_{i,1}^\lambda + \Delta Y_{i2}^\lambda, \quad (29)$$

$$(i, \lambda) \in M_1, \Phi_1 \geq v \Phi_1^*, \text{ де } v \geq 1 \quad (30)$$

Зауважимо, що у методі послідовних поступок окремі значення ΔY_{i1}^λ і ΔY можуть бути рівними нулю, а у методах лексикографічного впорядкування критеріїв $\Delta Y_{i1}^\lambda = \Delta Y_{i2}^\lambda = 0, v_1 = 1$. Послідовно здійснивши $R - 1$ етапів вирішення на останньому етапі формулюється і вирішується завдання.

$$\Phi_R = \sum_{(\lambda, i) \in M_R} [\psi_{1i}^\lambda (V_i^\lambda - Y_i^\lambda) + \psi_{2i}^\lambda (Y_i^\lambda - V_i^\lambda)] \rightarrow \min \quad (31)$$

$$Y_{i,1}^\lambda - \Delta Y_{i1}^\lambda \leq Y_i^\lambda \leq Y_{i,\rho}^\lambda + Y_{i2}^\lambda, \quad (32)$$

$$(i, \lambda) \in M_\rho, \rho = 1, \dots, R - 1, \Phi_\rho \geq v_\rho \Phi_\rho, \text{ де } \rho = 1, \dots, R - 1 \quad (33)$$

Результат вирішення визначає оптимальні значення якісних показників виробів, що розробляються і випускаються, терміни розробки та освоєння серійного випуску, оптимальний розподіл матеріальних і трудових ресурсів на різних стадіях життєвого циклу виробів.

Зауважимо, що у процесі виконання завдання у діалоговому режимі, варіюючи значення $\Delta V_{i1}^\lambda, \Delta V_{i2}^\lambda$ і

V_p на певних етапах оптимізації, можна отримувати цілу безліч оптимальних рішень, які на подальших етапах прийняття рішень можуть піддаватися всебічному техніко-економічному аналізу.

Висновки

У результаті проведення досліджень наведено основні методики вирішення задач щодо визначення оптимального рівня якості виробів, що випускаються:

1. Визначені оптимальні значення кожного з якісних показників виробу, побудовані функції втрат споживчих властивостей виробу (у вартісному вираженні) при відхиленні кожного з якісних показників від їх оптимальних значень в ту чи іншу сторону.

2. Критерії оптимального рівня якості розроблюваних виробів сформульовані у вигляді функціоналу сумарно приведенного прибутку за період життєвого циклу виробів, який визначається за проблематичною залежністю.

3. Сформульоване завдання математичного програмування. Експерти, оцінюючи отримані результати, можуть послабити або посилити деякі граничні значення на якісні показники окремих виробів, або на терміни освоєння їх серійного випуску, на сумарні витрати і трудові ресурси на різних стадіях життєвого циклу виробів.

4. Запропоновані рішення, які визначають оптимальні значення якісних показників виробів, що розробляються і випускаються, терміни розробки та освоєння серійного випуску, оптимальний розподіл матеріальних і трудових ресурсів на різних стадіях життєвого циклу виробів.

Література

1. Зенкін А. С. Адаптація системи збалансованих показників для оцінки якості складання машин / А. С. Зенкін, Г. І. Хімичева, К. І. Шишкевич // Технологія і техніка друкарства. – 2012. – № 1 (35). – С. 74–80.
2. Зенкін А. С. Кваліметрія / А. С. Зенкін, В. П. Куценко, Г. І. Хімичева, М. В. Трегубов. – Донецьк : ІППШ «Наука і освіта», 2013. – 340 с.
3. Зенкін А. С. Методика оцінки вартісних характеристик однорідної продукції / А. С. Зенкін, Г. І. Хімичева, А. В. Баланюк // Вісник національного технічного університету «КПІ». – 2012. – № 18. – С. 21–25.
4. Зенкин Н. А., Федин С. С., Тамими Х. М. Математические методы определения оптимального уровня качества изделий на стадиях научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок / Н. А. Зенкин, С. С. Федин, Х. М. Тамими // Прогрессивные технологии и системы машиностроения 6 международный сборник научных трудов. – Донецк : ДонГТУ, 1999. – Вып 7. – С. 68–75.
5. Ковальов О. І. Менеджмент якості функціонування підприємств / О. І. Ковальов, А. С. Зенкін, А. І. Хімичева. – Хмельницький : ПП ЦЮПАК, 2010. – 520 с.
6. Папандімітру Х. Комбінаторна оптимізація / Х. Папандімітру, К. Стайнгліц // Алгоритми і складність. – М. : Світ, 1985. – 510 с.
7. Приймаков О. Г. Методологія досліджень та оптимізація ринкової економіки / Приймаков О. Г. – Харків : «Оберіг», 2007. – 336 с.
8. Сінгх М. Системи: декомпозиція, оптимізація та управління / М. Сінгх, А. Тітлі. – М. : Машинобудування, 1986. – 495 с.
9. Борко В. О. Управління створенням наукоємної продукції у машинобудуванні / В. О. Борко, А. С. Зенкін // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Технічні науки» – 2015. – № 1 (82). – С. 144–149.

Рецензія/Peer review : 16.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Хімичева А.І.

ОГЛЯД ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НАСОСАМИ ЗМІННОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Проведено огляд функціональних можливостей та класифікацію сучасних пропорційних електрогідролічних систем керування регульованих аксіально-поршневих насосів. Зазначається, що регульовані насоси з пропорційним електрогідролічним керуванням знаходяться на стадії інтенсивного розвитку та мають в умовах вітчизняної промисловості широкі перспективи впровадження і використання.

Ключові слова: пропорційне електрогідролічне керування, регульований аксіально-поршневий насос, регулятор насоса.

YU.A. BURENNIKOV, L.G. KOZLOV, S.V. REPINSKYI
Vinnytsia National Technical University

REVIEW OF ELECTROHYDRAULIC CONTROL SYSTEMS OF VARIABLE PUMPS

The aim of the work is to review functional capabilities and to classify modern electro hydraulic proportional control systems of variable axial-piston pumps, offered by leading manufacturers. The paper considers basic circuits of proportional electro hydraulic control systems of variable pumps. In particular, operating principle of the variable pump with proportionally-controlled pressure compensation regulator, proportional flow and pressure regulators, electro hydraulic p/Q controller with digital electronic control is described. Static characteristics of the considered variable pump with said regulators are analyzed. Classification of the proportional electro hydraulic control systems of variable axial-piston pumps is proposed. It is noted that variable pumps with proportional electro hydraulic control are at the stage of intensive development and have broad prospects for implementation and use in domestic industry.

Keywords: electro hydraulic proportional control, variable axial-piston pump, pump regulator.

Вступ

Гідролічний привод – один з найважливіших компонентів будь-якої мобільної техніки та технологічного обладнання. Гідроприводи використовуються практично у всіх галузях промисловості. Сьогодні провідні світові виробники інтенсивно поєднують гідроприводи з електронними системами керування, застосовують «інтелектуальні» гідрокомпоненти з вбудованою електронікою і спеціальні комутаційні засоби (польові шини) з відкритою структурою, що дозволяє успішно поєднувати виняткові силові та динамічні властивості гідроліки з можливостями мікроелектроніки та комплексних систем керування, що швидко розвиваються. Важливе місце при цьому займають пропорційні електрогідролічні системи керування регульованих насосів, які надають гідрофікованій техніці якісно нові характеристики [1–4].

Метою роботи є огляд функціональних можливостей та класифікація сучасних пропорційних електрогідролічних систем керування регульованих аксіально-поршневих насосів (АПН), що знаходяться на стадії інтенсивного розвитку.

Основна частина

В Україні ринок регульованих АПН та їх механізмів керування представлений заводами колишнього СРСР (зокрема Росії, України та Білорусії) і постачальниками продукції з Західної Європи, в тому числі передових фірм, які виготовляють найбільш досконалі зразки. Високий технічний рівень регульованих АПН та їх широкий асортимент відмічений у фірм Atos (Італія), Rexroth, Linde Hydraulics, Sauer-Danfoss (Німеччина), Parker Hydraulics, Vickers, Denison (США) і ін. Асортимент сучасних регульованих АПН містить виконання з робочими об'ємами $q_0 = 4 \dots 1000 \text{ см}^3$, тисками $p = 8 \dots 42 \text{ МПа}$ і частотою обертання n до 5000 хв^{-1} . Системи керування регульованих АПН достатньо різноманітні та відрізняються залежно від виробника, типорозміру, а також серії чи моделі насоса [1–9]. Однак можна відмітити основні схеми пропорційних електрогідролічних систем керування регульованих АПН, що пропонуються виробниками.

На рис. 1 показано схему компенсатора тиску з пропорційним керуванням. Керування за допомогою компенсатора тиску використовується з метою обмеження максимального тиску в гідролічному контурі шляхом зміни продуктивності насоса на виході. Насос забезпечує максимальну подачу до того моменту, поки тиск в системі не досягне значення, заданого пропорційним клапаном тиску. Після досягнення цього тиску, регулятор знижує подачу насоса таким чином, щоб робочий тиск залишався на рівні, заданому для пропорційного клапана електричним сигналом керування. Існують модифікації регулятора з додатковим обмеженням мінімального і максимального робочого об'єму за допомогою механічних обмежувачів.

Пропорційний регулятор подачі (робочого об'єму) (рис. 2) дозволяє регулювати подачу насоса за допомогою електричного вхідного сигналу. Задане значення електричного вхідного сигналу (0–10 В, 0–20 мА або 4–20 мА) визначається системою керування машини і може встановлюватися потенціометричним регулятором, пультом керування, джойстиком, педаллю, пакетним перемикачем тощо.

Фактичний робочий об'єм насоса вимірюється датчиком, який подає сигнал на електронний блок керування. Електронний блок безперервно порівнює вхідне задане значення і фактичний робочий об'єм, включаючи пропорційний електромагніт регулятора. Відхилення від заданого робочого об'єму призводить

до зміни вхідного струму через електромагніт. При цьому регулятор змінює тиск в циліндрі керування насоса до встановлення необхідного робочого об'єму.

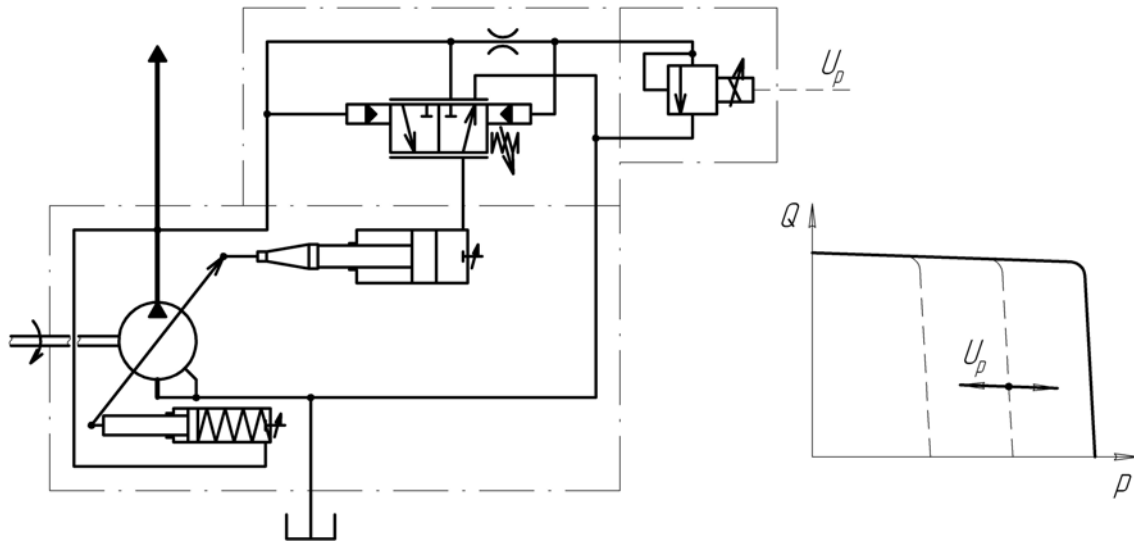


Рис. 1. Компенсатор тиску з пропорційним керуванням

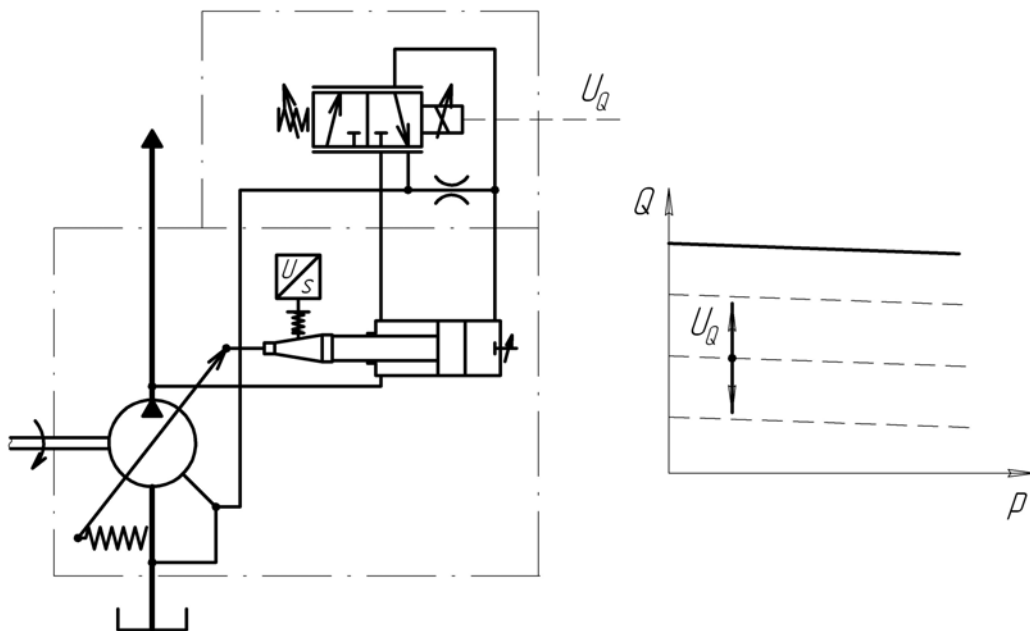


Рис. 2. Пропорційний регулятор подачі (робочого об'єму)

Пропорційний регулятор подачі показаний на рис. 2 не має компенсації тиску. Гідравлічний контур повинен бути захищений клапаном тиску.

На рис. 3 показаний пропорційний регулятор подачі та тиску. В даній конструкції роз'єднані дві базові функції керування: регулювання робочого об'єму і регулювання тиску.

Регулювання робочого об'єму здійснюється регулятором подачі. Датчик положення контролює поточну величину робочого об'єму і повертає вимірний сигнал в електронний блок керування. Електронна схема цього блоку порівнює сигнал зворотного зв'язку з сигналом керування і приводить в дію пропорційний електромагніт регулятора подачі для узгодження двох сигналів.

Компенсація тиску здійснюється окремим регулятором тиску, що керується пропорційним клапаном тиску. Цей клапан блокує функцію регулювання робочого об'єму.

Виробниками пропонується різні модифікації пропорційного регулятора подачі та тиску. Існують модифікації регулятора без керуючого пропорційного клапана тиску, коли регулювання тиску здійснюється механічним налаштуванням регулятора тиску або сигналом від дистанційного клапана тиску. У модифікації регулятора, що містить пропорційний клапан тиску разом з датчиком тиску, реалізується електрогідравлічне p/Q керування. В цьому випадку блок керування дозволяє додатково реалізувати електронне обмеження потужності, що знімається з приводного двигуна.

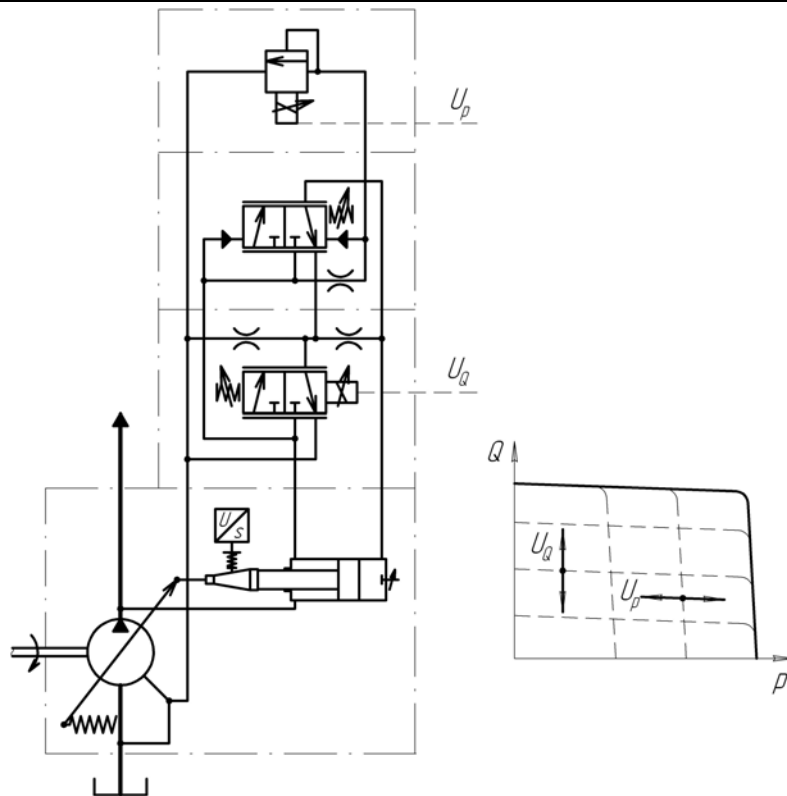


Рис. 3. Пропорційний регулятор подачі (робочого об'єму) та тиску

Електрогідравлічний р/Q регулятор з цифровим електронним керуванням (рис. 4) дозволяє користувачу вибирати різні функції керування: пропорційне регулювання тиску, пропорційне регулювання робочого об'єму та електронне обмеження крутного моменту.

Крім датчика робочого об'єму насоса, у гідравлічній системі повинен бути встановлений датчик тиску. Сигнали зворотного зв'язку від датчиків підключаються до електронного блоку керування. У провідних виробників, таких як Parker, Rexroth, Atos, система керування може бути вбудована в насос і не має зовнішніх проводів або сполучних трубопроводів, за винятком сигнального проводу для задавання подачі і вихідного сигналу тиску. Насос крім вбудованих датчиків тиску і робочого об'єму, може додатково комплектуватися вбудованим датчиком частоти обертання. Сигнали від датчиків використовуються керуючою програмою для забезпечення необхідного тиску і подачі нагнітання навіть при змінних параметрах, таких як частота обертання, температура, в'язкість і тиск навантаження. Крім того, ці датчики забезпечують можливість контролю гідравлічної системи з метою діагностики. Всі функції можуть бути налаштовані на заводі-виробнику, можуть керуватися сигналами або можуть бути налаштовані у відповідному програмному забезпеченні для ОС Windows.

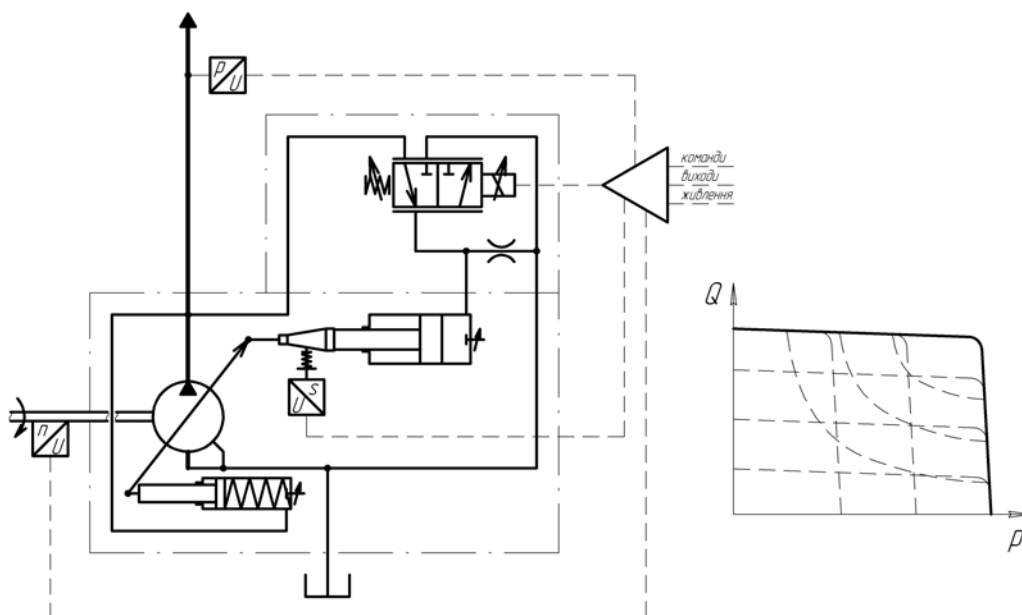


Рис. 4. Електрогідравлічний р/Q регулятор

У фірми «Parker» електрогідравлічний p/Q регулятор з цифровим електронним керуванням має модифікацію, у якій пружина зміщує регулятор до нульового робочого об'єму (варіант EY) та модифікацію, у якій пружина зміщує регулятор до максимального робочого об'єму (варіант GY) [2].

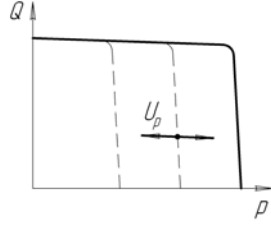
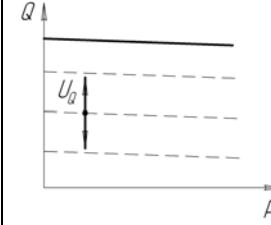
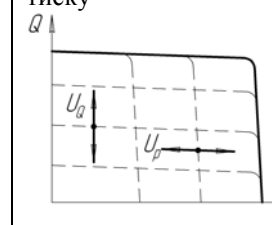
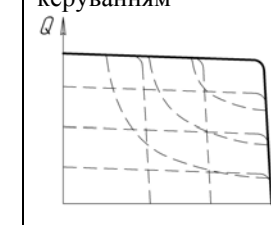
Слід відмітити, що насоси з p/Q керуванням характеризуються високою надійністю, підвищеною швидкодією та покращеними регулювальними характеристиками.

В табл. 1 наведено основні пропорційні електрогідравлічні системи керування регульованих аксіально-поршневих насосів.

Пропорційне електрогідравлічне керування регульованих насосів дозволяє інтегрувати гідропривод в загальну систему керування, значно розширює можливості мобільної техніки та технологічного обладнання, дозволяє реалізувати енергозберігаючі режими, підвищує точність керування, зменшує масо-габаритні показники, а також підвищує безпеку і покращує умови праці операторів.

Таблиця 1

Основні пропорційні електрогідравлічні системи керування регульованих АПН

Гідравліко-механічний принцип з пропорційним керуванням			Електронний принцип керування (системи керування на основі контролерів)
1	2	3	4
Компенсатор тиску з пропорційним керуванням 	Пропорційний регулятор подачі (робочого об'єму) 	Пропорційний регулятор подачі (робочого об'єму) та тиску 	Електрогідравлічний p/Q регулятор з цифровим електронним керуванням 
- з додатковим регулюванням min робочого об'єму за допомогою механічного обмежувача	- без зворотного зв'язку по робочому об'єму	- без керуючого пропорційного клапана тиску (регулювання тиску налаштовується механічно)	- пружина регулятора зміщує його до нульового робочого об'єму
- з додатковим регулюванням max робочого об'єму за допомогою механічного обмежувача	- зі зворотним зв'язком по робочому об'єму	- без керуючого пропорційного клапана тиску (регулювання тиску здійснюється дистанційним клапаном тиску)	- пружина регулятора зміщує його до максимального робочого об'єму
- з додатковим регулюванням min і max робочого об'єму за допомогою механічних обмежувачів		- з керуючим пропорційним клапаном тиску	
		- з керуючим пропорційним клапаном тиску та датчиком тиску (p/Q керування), що дає можливість додаткового електронного обмеження потужності	

В Україні наявний виробничий і технологічний потенціал, а також досвід виробництва гідрофікованої техніки. Зокрема, діють виробництва на таких підприємствах як ПАТ «Борекс», ХТЗ, ДП «ПІВДЕНМАШ», ВАТ «Тернопільський комбайновий завод», ВАТ «Хмельницький механічний завод», ТОВ НВП «Херсонський машинобудівний завод», ПАТ «Дрогобицький завод автомобільних кранів», АТ «Турбівський машинобудівний завод «Атеко»».

Однак, сьогодні тенденція така, що зберегти свою частку на ринку будуть здатні тільки ті компанії, які своєчасно впровадять у виробництво гідравлічне обладнання з пропорційним електрогідравлічним керуванням. Оскільки, незважаючи на умови кризи, все більше число підприємств прагне встановити саме таке обладнання на виробництво, а також інтегрувати його в бортові системи керування мобільною

технікою.

Висновки

Проведено огляд функціональних можливостей та запропоновано класифікацію сучасних пропорційних електрогідравлічних систем керування регульованих АПН, що пропонуються провідними виробниками. Регульовані насоси з пропорційним електрогідравлічним керуванням знаходяться на стадії інтенсивного розвитку та мають в умовах вітчизняної промисловості широкі перспективи впровадження і використання.

Література

1. Каталоги Bosch Rexroth [Електронний Ресурс] / Bosch Rexroth. – Режим Доступу : <https://www.boschrexroth.com/ics/Vornavigation/VorNavi.cfm>.
2. Насосы и моторы : каталог. HY02-8001/RU [Електронний ресурс] / Parker Hannifin. – Режим доступу : http://parker-hannifin.ru/up/catalog/parker_pumps_and_motors_HY02-8001.pdf.
3. Proportional controls for PVPC pumps [Електронний ресурс] / Atos. – Режим доступу : http://www.atos.com/english/technical_tables/english/A170.pdf.
4. Козлов Л. Г. Наукові основи розробки систем гідроприводів маніпулятора з адаптивним регулятором на основі нейромереж для мобільних робочих машин : дис. ... доктора техн. наук : спец 05.02.02 «Машинознавство» / Козлов Леонід Геннадійович. – Вінниця, 2015. – 421 с.
5. Репінський С. В. Система керування аксіально-поршневого регульованого насоса з профільованим вікном золотника комбінованого регулятора подачі : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.02 «Машинознавство» / Репінський Сергій Володимирович. – Вінниця, 2011. – 248 с.
6. Оптимізація конструктивних параметрів комбінованого регулятора подачі аксіально-поршневого регульованого насоса / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський, О. В. Поліщук // Промислова гідравліка і пневматика. – 2012. – № 1(35). – С. 73–77.
7. Буренніков Ю. А. Система керування аксіально-поршневого регульованого насоса з профільованим вікном золотника комбінованого регулятора подачі / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2012. – № 64. – С. 113–118.
8. Аналіз переваг та недоліків існуючих регуляторів подачі та потужності в системі керування аксіально-поршневого регульованого насоса / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський, О. В. Поліщук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 5. – С. 107–113.
9. Математична модель пропорційної електрогідравлічної системи керування регульованим насосом / С. В. Репінський, Д. О. Лозінський, М. П. Кучеренко, О. О. Ланова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 2. – С. 105–109.

Рецензія/Peer review : 28.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф., Іскович-Лотоцький Р.Д.

EQUAL-CHANNEL ANGULAR EXTRUSION OF POLYMERS

In the review the possibility of a new method of solid-phase extrusion of polymers, based on a simple shear - equal-channel angular extrusion, have been considered. The data about specific features of realization of this method are reported as well as structure evolution and physical and mechanical properties of the processed polymer materials of different structure: amorphous and semicrystalline polymers, polymer mixtures, filled composites. Structural models of oriented polymers and approaches to modelling of accumulation of plastic deformation in the course of extrusion are discussed.

Keywords: extrusion, polymers, composition materials, plastic deformation.

A.B. ВОЗНЯК, А.О. ВОЗНЯК

Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського

РІВНОКАНАЛЬНА КУТОВА ЕКСТРУЗІЯ ПОЛІМЕРІВ

В статті розглянуто можливість нового методу твердофазної екструзії полімерів, який заснований на простому зсуві – рівноканальній кутовій екструзії. Приведені відомості про особливості реалізації цього методу, еволюції структури і фізико-механічних властивостей полімерних матеріалів різної будови після обробки: аморфних і аморфно-кристалічних полімерів, полімерних сумішей, наповнених композитів. Обговорюються структурні моделі орієнтованих полімерів та підходи до моделювання процесу накопичення пластичної деформації при екструзії.

Ключові слова: екструзія, полімери, композиційні матеріали, пластична деформація.

Introduction

Equal-channel angular extrusion (ECAE) is one of effective methods of severe plastic deformation, so it is widely used for obtaining bulk submicro- and nanocrystal metallic billets [1–5]. The method is based on the pressing (extrusion) through oblique channels with the same area of the cross-section. In the contact area between the channels, the material is exposed to severe plastic deformation by simple shear. After numerous ECAE procedure applied to a metal, a systematic increase in the accumulated strain occurs, resulting in successive reduction of the grain size due to formation of a net of low-angle boundaries first, and then high-angle ones. The reduction of the grain size of the processed metals and alloys down to submicron level can enhance substantially their mechanical properties, in particular, to yield strength and tensile strength and to generate ability to superplasticity. A great number of papers including reviews and monographs report the results of experiments and computer simulation of plastic flow of such objects, evolution of their structure and properties under ECAE; different schemes and routes of the process are designed and put into practice that provide a prescribed set of physical and mechanical characteristics.

The works on ECAE of polymers were initiated relatively recently [6]. In this case, as opposite to metals, ECAE is applied in order to form an oriented structure that will promote obtaining articles with higher plastic and strength characteristics. As compared with traditional methods of solid-phase extrusion of polymers (ram and hydrostatic extrusion) resulting in reduction of cross sectional dimensions, ECAE gives a possibility to realize molecular orientation without form change. Besides, new opportunities of structure control are generated, being related to varied geometry of equipment, conditions and routes of deformation.

Now certain experience in ECAE application has been accumulated with respect to structure modification of polymeric materials of different nature: glassy and semicrystalline homo- and co-polymers, filled polymer compositions, too.

However, the results of experimental and theoretical investigations require analysis and generalizations for further development of the method considered. This fact was a reason for writing the present review aimed at fixation of the achieved progress in the study of ECAE features and ECAE effect on the structure and the properties of polymers and polymer composites.

In this technique, a billet is extruded through a die containing two channels, equal in cross-section, intersecting at an angle Φ (Fig. 1a). During the extruding, the billet undergoes severe shear deformation but retains the same cross-sectional geometry so that it is possible to repeat the pressing for a number of passes. Between two adjacent passes, it is possible to rotate the billet around its longitudinal axis, with creating different equal channel angular extrusion (ECAE) routes: route A (the billet orientation remains the same in the course of every pass); route B (the billet is rotated through 90°); route C (the billet is rotated through 180°) [1, 3]. Another factor that significantly affects the microstructural evolution is the channel-intersection angle, which determines the shear strain Γ after a single pass [3].

$$\Gamma = 2ctg\left(\frac{\Phi}{2}\right) \quad (1)$$

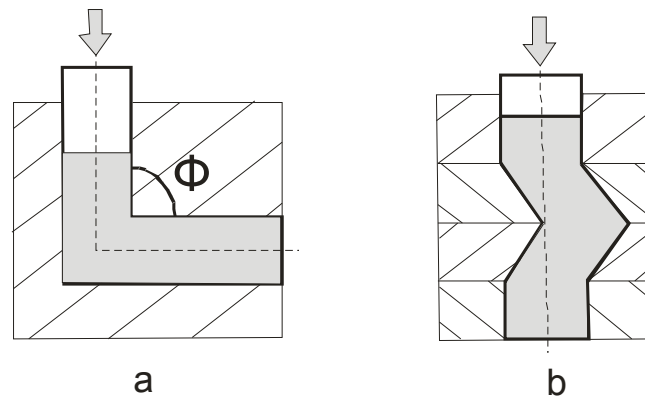


Fig. 1. Schematic representation of equal channel angular extrusion (a) and equal channel multiple – angular extrusion (b)

A smaller Φ will result in higher shear strain after a pass. Usually Φ is equal to 90° - 120° . If Φ angle is arbitrary, the increment of equivalent plastic strain ϵ_i caused by shear as a result of one pass through the channels can be calculated as follows

$$\epsilon_N = N \left[\frac{2ctg(\varphi/2 + \psi/2) + \psi cosec(\varphi/2 + \psi/2)}{\sqrt{3}} \right] \quad (2)$$

where Ψ is the corner angle.

Structure and properties of extrudates

Semicrystalline polymers. Both ECAE and ECS result in formation of a fibrillar structure in semicrystalline polymers. At the same time, formation of a mono- or bimodal orientation is observed [7–17]. The character of the last parameter and the degree of molecular orientation are determined by the value of Γ , the temperature and the deformation route [18].

ECAE at enhanced temperature provides a substantial improvement of the set of physical and mechanical characteristics. For instance, the extrusion of poly(DL-lactide) at $T_e = 75^{\circ}\text{C}$ increases T_m and the modulus of flexure E_f , and transforms the brittle character of the fracture into the plastic one [17]. If the non-deformed samples are of $E_f = 83\text{ MPa}$, two passes along A route ($\phi=90^{\circ}$) make E_f to achieve 179 MPa.

ECAE contributes to better optical properties of semicrystalline polymers. In particular, the light transmission factor in polypropylene (PP) after ECAE is 1,2 times higher than that of the original sample. The parameter increases when the strain degree increases [11]. The observed effect is associated with a decrease in the crystallite size and their orientation.

Amorphous polymers. ECAE forms molecular orientation in amorphous polymers without a loss of transparency [19–22]. Mechanical properties of polymethylmethacrylate after ECAE along A route with heating up to 120°C demonstrate a small increase in rigidity and strength with high plasticity retained.

EACE effect on the crack resistance and the resistance to impact fracture is very substantial. All the variants of extrusion provide the magnitudes of the fracture toughness and the crack propagation energy to be 2,8 and 4,5 times higher, respectively, as compared to the control samples.

Polymeric composites. In [23], the results about acetal plastic of partially crystallized structure with 13 weight % of glassy fibers were reported. ECAE was demonstrated to decrease the angle of preferable orientation and the length of the fibers as compared to the original material. Besides only the fibers of the critical length or longer were fractured, so this methods could be applied to the production of filamental composites with the controlled fiber length.

ECAE process can produce the immense solid shear force, which is enough to stretch, deform, tear or break both polymer spherulite and filler agglomerated particles. In [24], it was shown by the example of the PP-montmorillonite (MMT) system that the once ECAE process can deform agglomerated MMT particles from a sphere to a rod-like bar with an aspect ratio 5–10. The twice ECAE process further tear or break these rod-like MMT particles into needle-like primary particles even exfoliate a primary particles to silicate nanolayers, which disperse in PP matrix and endow PP great reinforcement.

ECMAE application is also an effective method of structural modification of mixture composites including those with a weak interphase interaction of the components (as PP-high density polypropylene (HDPE) system) [25]. It was found that ECAE determines high strength of cohesion due to increased contact area as a result of dispergation and transformation of the HDPE particle from the sphere to the banded one.

Powder billet. ECAE provides consolidation of the powders of semicrystalline polymers (ultra high weight polyethylene, linear low density polyethylene, HDPE, PP etc.) and production of a monolithic polymeric billet characterized by high density of chain entanglements and crystallites of small size [26]. The succeeding thermal, chemical and radiation treatment contribute to the degree of consolidation due to formation of additional bonds (cross-linking). As a result, a material with enhanced plasticity and strength is obtained. The crystallinity degree and the melting temperature are reduced, as compared to the original polymer.

The mentioned procedure allows production of bulk materials based on renewable natural polymers of high

density, with mechanical properties comparable to those of synthetic polymers [27, 28]. In particular, three-point bending tests showed that the yield strength of wheat starch was 35 MPa, the modulus of elasticity was 923 MPa, and the characteristics of wheat gluten were 28 and 1044 MPa, respectively. At the same time, the use of plasticizers was not necessary, and the problems related to the shrinkage, distortion and bending of the material were absent.

Process modelling. In order to optimize the process conditions, the estimation of the strain achieved in the extruded material is of an utmost importance. Analytical approaches have been developed [29–31] to characterize plastic strain in a sample exposed to ECAE process. However, these models assume that the behavior of the material is rigorously perfectly plastic, i.e. they neglect the elastic deformation component, which may be substantial in the case of polymers. Moreover, the complexity of the ECAE process makes finite element modeling (FEM) essential to understanding the influence of key parameters on the strain homogeneity [32–35].

According to Eq. (2), the value of equivalent plastic strain after ECAE is determined by the angle of channel intersection Φ and the corner angle Ψ . The equation is obtained with supposing that strain is uniformly distributed within the sample. However, the results reported in [32, 33] tell different. There exists a steady flow region, where the plastic strain is almost homogeneous along the longitudinal direction, except the ends of the extrudate [33]. At the same time, a strain gradient along the transversal direction is observed in the steady flow region, and local plastic strain is reduced from the upper surface to the bottom. The last phenomenon is related to the fact that the outside area of the sample is deformed mostly by the bending mechanism, not shear one. The magnitudes of ϵ are maximums at $\Phi=90^\circ$, but the distribution is more homogeneous at higher Φ . With increase in Φ and Ψ , the equivalent plastic strain is decreased.

The effect of cycling and deformation route on the character of ϵ distribution was analyzed for routes A and C with using the method of finite elements [32]. It was found that the die with $\Phi=90^\circ$ demonstrates a substantially better result, as compared to $\Phi=120^\circ$, 135° . In particular, the value of equivalent plastic strain achieved for one pass at $\Phi=90^\circ$ exceeds that after 6 passes at $\Phi=135^\circ$. This conclusion contradicts to ϵ_i calculations using (2) that yield: $\epsilon_i \approx 1,1$ at $\Phi=90^\circ$ and $0,4$ at $\Phi=135^\circ$. Hence, to accumulate total plastic deformation realized in the course of one pass at $\Phi=90^\circ$, 3 passes through a die with $\Phi=135^\circ$ are required. The divergence in estimates can be related to the fact that equation (2) assumes ideal plasticity of material and does not consider the elasticity, hardening and viscosity. The results of [32] as in accordance with experimental data [18], where the best set of elastic and strength characteristics of ECMAE-extruded semicrystalline polymers was observed at higher values of strain intensity determined by the channel intersection angle at the same values of accumulated strain.

It is shown in [32], that an increase in the number of deformation cycles results in reduction of the difference between the variation factors at the minimum and the maximum of Ψ (5° and 64°) for a die with $\Phi=90^\circ$, whereas $\Phi=120^\circ$ and 135° were associated with a reverse regularity. The authors of [32] relate this behavior of V in the case of $\Phi=90^\circ$ with saturation effect. Other angles are supposed to require more passes before saturation.

According to [32], the choice of the processing route is controlled by the magnitude of Φ . At $\Phi=90^\circ$, route C provides more homogeneous distribution of the equivalent plastic strain than route A. We can expect microstructure and properties of the samples processed by route C to be more homogeneous, too. At the same time, route A is preferable for the dies with higher angles.

The above results are obtained on the assumption that friction between the sample surface and die walls is negligible. In [32, 34], friction between the die and the sample was modeled with using Coulomb friction law, being supposed to be uniform everywhere in the die. It was found that the value of the equivalent plastic strain increases as the friction coefficient f rises. This regularity was found out when testing ECMAE effect on microhardness of semicrystalline polymers: as the friction coefficient increases, microhardness of extrudates is enhanced [35].

Though friction effect on the distribution of the equivalent plastic strain in polymers is insignificant in comparison with metals, being reduced as Φ and Ψ increase, the same is not valid for pressing power. For example, HDPE extrusion at $\Phi=90^\circ$ and $\Phi=135^\circ$, when $f=0$, demonstrated the maximum pressing force F of 4,577 N and 916 N, respectively. At $f=0,3$, the maximum pressing force was 6,942 N and 1,269 N, respectively [32].

Equal Channel Multi Angular Extrusion (ECMAE). In Fig.1b, the scheme of ECMAE process is presented. Contrary to ECAE, different routes are realized by rotation of the deforming channels through the vertical axis. In the course of extrusion, the billet remains inside the deforming channels, to avoid undesired relaxation processes related to the cooling and the succeeding heating of the deformed samples up to T_c . Besides, the problems associated with the accumulation of plastic strain are solved that are characteristics of ECAE even after the first pass. Moreover, ECMAE allows variation of the shear plane position due to combination of different deformation routes that are impossible in the course of ECAE.

Semicrystalline polymers. ECMAE forms biaxially oriented structures with two types of microfibrils differing in the degree of perfection of crystallites. The first group is characterized by a great number of crystallites with “double” or “triple” folds, i.e. rectified parts of the chains passing two or three lamellae including transsections between them. The second type of microfibrils has no crystal formations with rectified sections of macromolecules passing through the neighbor crystallites.

The best set of the mechanical properties is provided by D+C route at the maximum possible shear strain Γ . The realization results in both multiple increase in the microhardness, rigidity and strength, and the plasticity conserved at the level of the original material (Table). The magnitude of the observed effect depends on the chemical composition, morphology and the molecular mass of the polymer. The choice of the optimum thermal and velocity conditions of ECMAE is also very important. The recommended ranges of the temperature and the

velocities of ECMAE are close to those of solid state extrusion with form change.

Table

ECMAE effect on the mechanical properties and the coefficient of thermal expansion in HDPE

Sample (treatment)	Microhardness (MPa)	Young's modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	α (cross section) $\times 10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	α (longitudinal section) $\times 10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Reference	32	220	20	520	220	210
After ECMAE	202	1400	114	515	-7	-6

Note. $M_w=1 \cdot 10^6$

ECMAE-modified semicrystalline polymers demonstrate biaxial invar effect within a wide temperature range. It is found as very low coefficients of thermal expansion α measured in the longitudinal and transversal directions that are many times less of the characteristics of the non-deformed polymers and close to the values of α associated with invar alloys (Table).

Glassy polymers. In the case of glassy polymers, the microhardness, the yield strength and the fracture toughness are increased by 1,2–1,5 times. At the same time, an insignificant increment of plasticity and density is registered. The magnitude of the achieved effects is determined by the shear strain Γ and the selected deformation route.

According to the data of the differential scanning calorimetry and the scanning electron microscopy, the main factors controlling the result are: formation of elongated, more energetic G-conformers, improved intermolecular interaction, formation of a network of oriented macromolecules preventing the crack evolution.

Conclusions

1. As opposed to traditional methods of solid-phase modification of polymers based on plastic deformation, equal-channel angular extrusion does not change the form and the size of processed articles but it can provide for substantial improvement of the set of physical and mechanical characteristics due to formation of oriented structure, first of all.

2. To achieve high level of the properties, extrusion must be performed at low pressing speed and at optimum temperatures that are close to the melting temperature (semicrystalline polymers) or to the glass-transition temperature (glassy polymers).

3. The most effective variant of ECAE realization is ECMAE due to possible accumulation of higher plastic strain and change of the deformation route for one cycle of the process.

4. Application of ECAE and its commercial use in the case of polymer materials require further investigations aimed at modelling of the process, ascertainment of structure aspects of simple shear deformation and correlations between strain characteristics, structure elements and properties.

References

1. Segal VM (1999) Equal channel angular extrusion: from macromechanics to structure formation. *J Mater Sci Eng* 271A: 322–333.
2. Nakashima K., Horita Z., Nemoto M., Langdon T.G. (2000) Development of a multi-pass facility for equal channel angular pressing to high total strains. *Mater Sci Eng* 281A: 82–87.
3. Valiev RZ, Langdon TG (2006) Developments in the use of ECAP processing for grain refinement. *Rev Adv Mater Sci* 13: 15–26.
4. Rosochowski A., Olejnik L., Rechert M. (2006) Channel configuration effects in 3D-ECAP. *Mater Sci Forum* 503–504: 179–184.
5. Nagarajan D., Chakkingal U., Venugopal P. (2007) Influence of cold extrusion on the microstructure and mechanical properties of an aluminum alloy previously subjected to equal channel angular pressing. *J Mater Proc Technol* 182: 363–368.
6. Sue H.-J., Li CK-Y. (1998) Control of orientation of lamellar structure in linear low density polyethylene via a novel equal channel angular extrusion process. *J Mater Sci Lett* 17: 853–856.
7. Cambell B., Edward G. (1999) Equal-channel angular extrusion of polyalkine. *Plast Rubber Compos* 28: 467–475.
8. Wang T., Tang S., Chen J. (2011) Effect of processing route on morphology and mechanical behavior of polypropylene in equal-channel angular extrusion. *J Appl Polym Sci* 122: 2146–2158.
9. Bartczak Z., Argon A.S., Cohen R.E. (1994) Texture evolution in large strain simple shear deformation of high density polyethylene. *Polymer* 35: 3427–3441.
10. Philips A., Zhu P., Edwards G.E. (2006) Simple shear deformation of polypropylene via the equal-channel angular extrusion process. *Macromolecules* 39: 5796–5803.
11. Qiu J., Murata T., Wu X., Kitagawa M., Kudo M. (2012) Plastic deformation mechanism of crystalline polymer materials in the equal-channel angular extrusion process. *J Mater Proc Technol* 212: 1528–1536.
12. Xia Z-Y., Sue H-J., Rieker T.P. (2000) Morphological evolution of poly(ethylene terephthalate) during equal-channel angular extrusion process. *Macromolecules* 33: 8746–8755.
13. Xia Z., Sue H-J., Hsieh A.J., Huang JW-L. (2001) Dynamic mechanical behavior of oriented

semicrystalline polyethylene terephthalate. *J Polym Phys* 39B: 1394–1403.

14. Wang Z-G., Xia Z-Y., Yu Z-Q., Chen E-Q., Sue H-J., Han C.C., Hsiao B.S. (2006) Lamellar formation and relaxation in simple sheared poly(ethylene terephthalate) by small-angle X-ray scattering. *Macromolecules* 39: 2930–2939.
15. Xia Z., Hartwing T., Sue H-J. (2004) Mechanical behavior of bulk poly(ethylene terephthalate) subjected to simple shear. *J Macromol Sci* 43B: 385–403.
16. Ma J., Simon G.P., Edward GH (2008) The effect of shear deformation on nylon-6 and two types of nylon-6/clay nanocomposite. *Macromolecules* 41: 409–420, 972.
17. Cui H., Zhang L., Gong J., Ma Y., Ying W. (2006) Reinforcement of biodegradable poly(DL-lactic acid) material by equal-channel angular extrusion. *Macromol Symp* 242:55–59.
18. Beloshenko V.A., Varyukhin V.N., Voznyak A.V., Voznyak Y.V. (2010) Equal-channel multiangular extrusion of semicrystalline polymers. *Polym Eng Sci* 50: 1000–1006.
19. Weon J.I., Creasy T.S., Sue H-J., Hsieh A.J. (2005) Mechanical behavior of polymethylmethacrylate with molecules oriented via simple shear. *Polym Eng Sci* 45: 314–324.
20. Xia Z., Sue H-J., Hsieh A.J. (2001) Impact fracture behavior of molecularly oriented polycarbonate sheets. *J Appl Polym Sci* 79:2060–2066.
21. Li C.K., Xia Z-H., Sue H-J. (2000) Simple shear plastic deformation behavior of polycarbonate plate. II. Mechanical property characterization. *Polymer* 41: 6285–6293.
22. Yoshioka S, Tsukamoto K (2009) Effect of ECAE on plastic deformation behavior of glassy polymers. *Jpn Soc Mater Sci* 58:29–34.
23. Creasy T.S., Kang Y.S. (2004) Fiber orientation during equal channel angular extrusion of short fiber reinforced. *J Thermoplast Compos Mater* 17: 205–227.
24. Li H., Huang X., Huang C., Zhao Y. (2012) An investigation about solid equal-channel angular extrusion. *J Appl Polym Sci* 123:2222–2227.
25. Li H., Huang C., Huang X. (2013) Structure and properties of polypropylene/high-density polyethylene blends by solid equal-channel angular extrusion. *J Appl Polym Sci*. 39759.
26. Pat. US2012/0178892A1 Angular extrusion for polymer consolidation/Douglas W. Van Citters – Publ. 12.06.2012.
27. Zhang X., Gao D., Wu X., Xia K (2008). Bulk plastic materials obtained from processing raw powder of renewable natural polymers via back pressure equal-channel angular consolidation (BP-ECAC). *Europ Polym J* 44: 780–792.
28. Zhang X., Wu X., Gao D., Xia K. (2012) Bulk cellulose plastic materials from processing cellulose powder using back pressure-equal channel angular pressing. *Carbohydrate Polym* 87: 2470–2476.
29. Segal V.M., Reznikov V.I., Drobysheskiy A.E., Kopylov V.I. (1981) Plastic working of metals by simple shear. *Russ Metall* 1:99–105.
30. Iwahashi Y., Wang J., Horita Z., Nemoto M., Langdon T.G. (1996) Principle of equal-channel angular pressing for the processing of ultra-fine grained materials. *Scripta Mater* 35: 143–146.
31. Segal V.M. (2003). Slip line solutions, deformation mode and loading history during equal channel angular extrusion. *Mater Sci Eng* 345A: 1049 36–46.
32. Aour B., Zairi F., Boulahia M., Nait-Abdelaziz M., Gloaguen J.M., Lefebvre J.M. (2009) Experimental and numerical study ECAE deformation of polyolefins. *Comput Mater Sci* 45: 646–652.
33. Aour B., Zairi F., Nait-Abdelaziz M., Gloaguen J.M., Lefebvre J.M. (2009) Finite element analysis of plastic strain distribution in multipass equal channel angular extrusion process of HDPE. *J Manuf Sci Eng* 131: 524–534.
34. Zairi F., Aour B., Gloaguen J.M., Nait-Abdelaziz M., Lefebvre J.M. (2008) Steady plastic flow of a polymer during equal channel angular extrusion process: experimental and numerical modeling. *Polym Eng Sci* 48:1015–1021.
35. Sue H-J., Dilan H., Li CK-Y. (1999) Simple shear plastic deformation behavior of polycarbonate plate due to the equal channel angular extrusion process. I: finite element methods modeling. *Polym Eng Sci* 39: 2505–2515

Рецензія/Peer review : 24.2.2016 р.

Надрукована/Printed :19.4.2016 р.

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

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ХМЕЛЬНИЧЧИНІ

Розглянуто основні види альтернативної енергетики, можливі для застосування в умовах Хмельницької області, проаналізовано їх потенціал за еколого-економічною складовою, розглянуто сучасний стан використання альтернативної енергетики на Хмельниччині.

Ключові слова: альтернативна енергетика, нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії.

O.O. YEFREMOVA, I.P. KRAINOV, N.G. MIRONOVA

Khmelnytsky National University

Y.P. SHAGO

Interagency Environmental Center of the NAS and the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF ALTERNATIVE ENERGY DEVELOPMENT ON KHMELNYCHYNA

The basic types of alternative energy, possible for application in the conditions of the Khmelnytsky area, are considered. Potential of all types of alternative energy is analysed after a environmental and economic component. The analysis of possibilities and prospects of the use of alternative and renewable energy sources on Khmelnychnyna leads to an openness and transparency for development of industry. An area is an epicentre on building of sunny power-stations among the western regions of Ukraine. A hydroenergetics and wind energy developed less than. High resource potential of production and use of biogas will not be realized at sufficient level. The investment attractiveness of area needs a further objective evaluation for development of certain types of alternative and renewable energy sources.

Keywords: alternative energy, unconventional and recovery energy sources.

Вступ

Використання невідновлювальних джерел енергії, які є вичерпними і запаси яких стрімко скорочуються, не може забезпечити стійкого розвитку енергетики країни у віддаленій перспективі. До того ж, використання вугілля, нафти та газу призводить до погіршення екологічного стану навколишнього середовища та додаткових витрат на його відновлення.

Постановка задачі

Єдиним шляхом вирішення цієї проблеми є енергозбереження та впровадження альтернативної енергетики. Метою роботи є дослідження альтернативних джерел енергії, визначення доцільності їх використання для регіональних умов Хмельниччини з врахуванням технічно-досяжного та економічно-доцільного потенціалу нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії.

Результати та їх обговорення

З метою енергозбереження на сучасний період в Україні можливе використання відновлюваних джерел енергії, а саме: сонячної енергії; енергії вітру; енергії малих річок, морів; геотермальної води; відходів сільськогосподарської продукції та виробництва; теплоти Землі; енергії нетрадиційного палива.

Потенціал нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) визначається кліматичними характеристиками, обсягами відходів виробництва та промислової переробки його продукції, кількістю споживачів енергії тощо [1].

До місцевих (наявних у Хмельницькій області) відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) можна віднести наступні:

- сонячну енергію;
- геотермальну енергію;
- енергію малих річок;
- енергію біомаси (деревина, рослинні рештки, біопаливо, газ ферментації відстоїв і стоків, біогаз з біогазових установок аграрних підприємств, газ полігонів твердих відходів);
- теплову енергію стічних вод;
- теплову енергію ґрунту та ґрунтових вод;
- енергію вітру.

Оцінку потенціалу НВДЕ для регіонів проводять використовуючи показники технічно-досяжного та економічно-доцільного потенціалу НВДЕ. У першому випадку показник враховує сучасний стан розвитку технічної та технологічної бази відновлювальної енергетики та спроможності і доцільності їх впровадження. Другий показник враховує не лише техніко-технологічні фактори, а й стан економічного розвитку, соціальні та політичні фактори [2].

Хмельницька область належить до групи областей із середнім рівнем забезпеченості НВДЕ, оскільки сума нормованого потенціалу на основі даних технічно-досяжного потенціалу НВДЕ складає 1,42, а сума нормованого потенціалу на основі даних економічно-доцільного потенціалу – 0,66 [1].

Розрахований нормований потенціал відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії для

Хмельницької області наведено у таблиці 1[1].

Таблиця 1

Потенціал відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії Хмельницької області [1]

Нормований потенціал НВДЕ	Значення потенціалу
Нормований потенціал НВДЕ по:	
сонячній енергетиці, МВт·год./рік	0,38
гідроенергетиці малих річок, МВт·год./рік	0,06
енергії низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, МВт·год./рік	0,11
тепловій енергії стічних вод, МВт·год./рік	0,1
деревини, т у.п.	0,36
біогазу, т у.п.	0,85
рослинної біомаси, т у.п.	0,12
інших органічних відновлювальних енергоносіїв (біогаз звалищ та стоків, моторне біопаливо, торф), т у.п.	0,46

Аналіз даних таблиці дає можливість виділити для Хмельницька область три групи джерел – з високим, середнім та низьким потенціалом НВДЕ.

Низький нормований потенціал НВДЕ характерний для гідроенергетики малих річок, енергії низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, теплової енергії стічних вод, а також рослинної біомаси. Відносні переваги (середній нормований потенціал НВДЕ) область має по сонячній енергетиці, деревині та інших органічних відновлювальних енергоносіях (біогаз звалищ та стоків, моторне біопаливо, торф). Найбільший потенціал належить використанню в якості джерела енергії біогазу.

У 2014 році Хмельниччина зменшила споживання природного газу у порівнянні з 2013 роком на 24 млн кубометрів або 16 %. Такий результат забезпечили переведені на тверде паливо та електрику об'єкти теплопостачання, модернізація комунальної теплоенергетики. Так, на МКП "Хмельницьктеплокомуненерго" за державні кошти облаштовано 40 геліосистем та 4 електроротли [3]. Отже, на Хмельниччині за останні роки створений практичний досвід переходу з традиційних видів палива на альтернативне.

На сьогодні, перспективи покращення енергоефективності та впровадження альтернативних джерел енергії пов'язані з активним залученням іноземних інвестицій, які у регіоні спрямовані на розвиток сонячної енергетики.

Група компаній «Екотехнік Прага» (Ekotechnik Praha, Чехія), що є одним з провідних європейських операторів сонячних електростанцій, має намір побудувати в 14 районах Хмельницької області сонячні електростанції, а саме: в Дунаєвецькому, Хмельницькому, Віньковецькому, Ярмолинецькому, Новоушицькому, Чемеровецькому, Летичівському, Старосинявському, Деражнянському, Білогірському, Городоцькому, Теофіпольському, Кам'янець-Подільському та Волочиському районах. Загальна потужність сонячних електростанцій становитиме 160 МВт. А площа земельних ділянок відведених під будівництво електростанцій складатиме біля 400 га [4].

У с. Ясенівка Ярмолинецького району з жовтня 2012 року функціонує перша на Хмельниччині сонячна електростанція (рис. 1) потужністю 1 МВт. Загальна площа земельної ділянки, на якій побудована електростанція, становить 2,5 га землі, кошторисна вартість будівництва складає близько 26 млн грн [4].



Рис. 1. Сонячна електростанція (с. Ясенівка, Хмельницька область)

Наступним етапом планується співпраця з промисловими підприємствами області: ДП «Новатор», ТОВ «Р.І.Н.О.», ПАТ «Укрелектроапарат», ТОВ «Атонмаш» з виробництва складових металоконструкцій, трансформаторних підстанцій, модулів для диспетчерського обслуговування, що забезпечить виробництво 30 % обладнання підприємствами України.

У рамках спільного проекту Європейського союзу та Програми розвитку ООН «Місцевий розвиток, орієнтований на громаду» в області з 2008 року по 2014 рік встановлено вуличне освітлення з використанням поновлювальних джерел енергії [5].

На сьогодні автономними опорами освітлення обладнано вулиці сіл Антоніни, Тернавка, Нове Село, Писарівка, Зіньків (рис. 2).

Сонячні мініелектростанції активно впроваджує приватний сектор. Наприклад, у приватному будинку за допомогою сонячних трубчастих колекторів здійснюється підігрів води у басейні об'ємом 60 м³; також побудована сонячна електростанція потужністю 10 кВт (рис. 3). Колектори зменшили витрати газу з

11500 м³ на рік до 5000 м³ газу на рік. Надлишок електроенергії, виробленої за допомогою сонячної електростанції, продається Державі за програмою «Зелений тариф».

Перший в області будинок, в якому максимально реалізовано всі альтернативні та поновлювальні джерела енергії, знаходиться у м. Хмельницькому. Він опалюється тільки за допомогою теплового насосу (на фото в центрі – рис. 4), без дублюючих традиційних джерел енергії. Теплова потужність такого повітряного теплового насосу складає 28 кВт при споживанні від 6 кВт до 8 кВт електроенергії, що втричі менше ніж звичайний електродіод. Гаряче водозабезпечення будинку вирішено за допомогою сонячних колекторів.

Електрикою будинок забезпечений за допомогою сонячної станції. При відключенні міської електромережі будинок споживає електрику накопичену в акумуляторах. Також побудована мережева сонячна станція, яка виробляє електрику, подає її на будинок для споживання, а надлишок продає Державі за програмою «Зелений Тариф».

Розвиток гідроенергетики Хмельницької області пов'язаний з 14 діючими малими ГЕС загальною потужністю 4,52 МВт. Середньорічний обсяг виробництва електроенергії від цих ГЕС становить 12000 МВт·год./рік, що складає 5,71 % [6].

Збільшення енергії, що виробляється малими ГЕС, на території Старокостянтинівського району планується досягти за рахунок відновлення роботи 3 малих ГЕС, що здійснює ТОВ «РесурсЕкоЕнерго». В середньому кожна ГЕС вироблятиме близько 2 млн кВт/год. на рік. Цей проект здійснюється в рамках програми технічної допомоги PSOM «Підтримки країн Центральної та Східної Європи при переході на ринково-орієнтовану економіку» і передбачає за рахунок міжнародної технічної допомоги отримання консультацій, придбання обладнання та відновлення працездатності малих ГЕС. Також на даний час проводяться ремонтно-відновлювальні роботи гідротехнічних споруд в с. Губин.

Отже, в цілому в районі діятиме 4 малих ГЕС, які вироблятимуть понад 8 млн кВт/год. в рік [7].

Розвиток вітрової енергетики в області на даний час не має підтримки інвесторів, проте населення поступово починає використовувати вітрогенератори для забезпечення власних потреб. Так, у с. Колибань (рис. 5) для автономного забезпечення будинку електроенергією встановлено вітрогенератор потужністю 1 кВт та два сонячних модуля загальною потужністю 0,5 кВт. Вироблена енергія накопичується в акумуляторах та використовується на побутову техніку та світлодіодне освітлення. Ще один вітрогенератор, що забезпечує електрикою приватний об'єкт бізнесу, встановлено на виїзді з м. Хмельницький, номінальна потужність генератора складає 1,6 кВт/год.



Рис. 2. Автономні опори освітлення на вулицях сіл Хмельницької області



Рис. 3. Сонячна електростанція потужністю 10 кВт (Хмельницька область)



Рис. 4. Сонячна електростанція потужністю 12 кВт (м. Хмельницький)



Рис. 5. Вітрогенератор потужністю 1 кВт (с. Колибань, Хмельницька область)

Найбільший потенціал у розвитку альтернативних джерел енергії Хмельницька область має при використанні біогазу. Ці технології, в основному, реалізуються в умовах малих фермерських господарств та підприємств. Так, на ЗАТ «АВІС» передбачається впровадження проекту по скороченню споживання на птахофабриках електроенергії з електричної мережі за рахунок впровадження сучасної технології утилізації курячого посліду з подальшим виробництвом електроенергії на базі парових котлів та турбогенераторів або біогазової та когенераційної установок. Проект включає будівництво енергетичного комплексу з утилізації 660 т/добу курячого посліду та виробництва теплової та електричної енергії.

Будівництво великих підприємств з отримання біогазу можливе тільки за сприятливого інвестиційного клімату. Так, за наявності «зеленого» тарифу на електроенергію в Україні на базі підприємств групи UkrLandFarming [8] у Хмельницькій області заплановано будівництво двох біогазових установок загальною потужністю 20 МВт/год.

Таким чином, використання енергетичного потенціалу НВДЕ на території Хмельниччини підвищить рівень енергозабезпечення об'єктів народного господарства, поліпшить паливно-енергетичний баланс, зменшить обсяг необхідного імпорту органічних видів палива, покращить соціальну та екологічну ситуацію в районах області, сприятиме конкурентоспроможності наших підприємств, призведе до зниження енергоємності ВВП та знизить залежність держави від імпорту енергоносіїв.

Висновки

Аналіз можливостей та перспектив використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії на Хмельниччині доводить відкритість та прозорість для розвитку галузі. Область є епіцентром по будівництву сонячних електростанцій серед західних регіонів України. Менше розвивається гідро- та вітроенергетика. Не реалізується на достатньому рівні високий ресурсний потенціал виробництва та використання біогазу.

Саме тому потребує подальшого об'єктивного оцінювання інвестиційна привабливість області для розвитку конкретних видів НВДЕ.

Література

1. Олейко В. М. Енергетичний потенціал НВДЕ областей України / В. М. Олейко, Н. Є. Стрельбицька // *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.* – К. : Ред. изд. «Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит», 2011. – № 3 (85). – С. 35–42.
2. *Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії / під заг. ред. А. К. Шидловського.* – К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
3. Як цієї зими економили газ у Хмельницькій та Запорізькій області [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ecotown.com.ua>.
4. Розвиток сонячної енергетики у Хмельницькій області [Електронний ресурс] / Управління інфраструктури та туризму облдержадміністрації. Хмельницька ОДА. – Режим доступу : <http://rda.dn.ua>.
5. Стартувала третя фаза Проекту ЄС/ПРООН «Місцевий розвиток, орієнтований на громаду» [Електронний ресурс] / Хмельницька ОДА. – Режим доступу : <http://oblrada.km.ua/news/open/1258/>.
6. *Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Кн. 5 : Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / [Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо, Г. Б. Варламов та ін.].* – К. : Ред. вид. "Енергетика: історія, сучасність і майбутнє", 2013. – 390 с.
7. *Хмельниччина розвиває альтернативну енергетику / Хмельницька ОДА [Електронний ресурс].* – Режим доступу : http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=246615744.
8. Дмитерко В. М. Біогазові установки під українські реалії впровадження на базі Холдингу UkrLandFarming [Електронний ресурс] / В. М. Дмитерко – Режим доступу : <http://www.uabio.org/img/files/news/pdf/dmyterko.pdf>.

Рецензія/Peer review : 6.2.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.с.-г.н., проф. Кучерявий В.П.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МІКРОМЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ (БІОМАСИ)

У статті досліджено досвід зарубіжних країн і можливості його адаптації для України в питаннях створення концепції мікромереж. Унікальна особливість цих мікромереж – це те, що вони можуть використовувати локально доступні ресурси, тобто розосереджені джерела енергії, такі як сонячна енергія, вітер, потік води і біомаса для генерування електроенергії. Для вирішення проблем акумулювання енергії, сезонності її генерування в статті запропоновано використовувати міні-ТЕЦ. Одним із найдорозжчих елементів таких установок є газогенераторний котел, тому для запропонованої установки міні-ТЕЦ, вдосконалено його будову, а саме зменшено його габарити, металоемність. В газогенераторному котлі запропонованого типу можна використовувати не тільки сухе паливо, а й вологе. Принцип дії запропонованого газогенераторного котла полягає в тому, щоб спалювати генераторний газ одразу ж на виході зони газифікації та віддавати теплову енергію теплоносієві, який знаходиться безпосередньо в корпусі газогенераторного твердopаливного котла.

Ключові слова: мікромережа, розосереджені джерела енергії, біомаса, міні-ТЕЦ, газогенераторний котел.

О.О. RUBANENKO

Vinnitsia national agrarian university

RESEARCH POSSIBILITY OF CREATING MICROGRIDS USING DISTRIBUTED SOURCES OF ENERGY FROM BIOMASS

In the article the experience of foreign countries and its possible adaptation for Ukraine in the creation of the concept microgrids. A unique feature of microgrids is that they can use locally available resources, that dispersed energy sources such as solar, wind, water flow and biomass to generate electricity. To address energy storage, generation of seasonality in the article the use of mini-CHP. One of the most expensive elements of setting gas generator is a boiler, so the proposed installation of mini CHP, improved its structure, namely reduced its size, metal. In the proposed gas generator boiler type can be used not only dry fuel, but also wet. The principle of the proposed gas generator boiler is to burn gas generator immediately at the output gasification zone and give heat the coolant, which is directly in the case of solid fuel boilers gas generator.

Keywords: microgrids, dispersed energy, biomass, mini-CHP boiler gas generator.

Вступ. У статті досліджено досвід зарубіжних країн і можливості його адаптації для України в питаннях створення концепції мікромереж. Унікальною особливістю цих мереж є те, що вони можуть використовувати локально доступні ресурси, тобто розосереджені джерела енергії, такі як: сонячна енергія, вітер, потік води і біомаса для генерування електроенергії. Для оцінки можливості застосування мікромереж потрібно оцінити поточне споживання електроенергії та майбутній попит на неї. На підставі цього потрібно структурувати споживання потужності протягом 24 годин. За допомогою такого аналізу можна визначити енергоспоживання і проаналізувати доступні місцеві енергетичні ресурси. Вже позитивний досвід використання мікромереж є в Гімалаях, для створення мікромережі було обрано село яке має різні ресурси для генерування електроенергії, і розглянуто різні конфігурації мікромереж, тому інформація представлена в цій статті буде корисна для проектування мікромереж для віддалених місць в країнах, які характеризуються нестабільним електропостачанням [1–3].

Досвід використання мікро мереж в Індії

За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА): доступ до електроенергії є невід'ємним елементом сталого розвитку людства, і згідно з останніми даними до 2011 року 1,6 млрд людей, тобто більше 20%, не мали доступ до електроенергії і надалі, якщо будь-яка країна, яка не має доступу до сучасних, комерційних джерел енергії, бідні країни і навіть регіони країн, що розвиваються можуть опинитися в зоні виникнення бідності, соціальної нестабільності і низького рівня розвитку. Індекс розвитку людства напряму пов'язаний з індексом розвитку електроенергетики, що було доведено протягом довгого часу з урахуванням стану різних країн Південної Азії і Африки на південь від Сахари. Аналогічний випадок був виявлений у віддалених районах Гімалаїв, хоча люди і мають доступ до електроенергії, але ця електроенергія має погані показники якості і можливі тривалі перебої в її постачанні. Дуже часто поновлювані джерела мають ізольований і децентралізований характер, що змушує будувати «offgrid» апарат керування і децентралізовано задовольняти місцеві потреби в електроенергії. Ця децентралізована система називається розосередженою системою генерації електроенергії, тобто електроенергія генерується з місцевих поновлюваних енергоресурсів і може бути використана для задоволення потреб певного типу (кластера) навантажень. Мікромережа може вклячатися в себе генерацію з більш ніж одного типу розподілених джерел енергії в залежності від наявності різних поновлюваних ресурсів для забезпечення стабільного та надійного енергозабезпечення локальних навантажень. Мікромережа може працювати або в islanded режимі (режимі «енергетичного острова») або паралельно з мережею. Установка поновлюваних джерел енергії на основі мікромережі в сільській місцевості або в невеликих галузевих масштабах, допоможе зменшити залежність від якості і надійності розподільних мереж, а також дозволяє уникнути втрат електроенергії, пов'язаних з передачею і розподілом потужності [4–6]. Це буде сприяти розвитку рівня

життя цих людей і до того ж, почне швидко розвиватись промисловість АПК, тому що електропостачання буде постійним, навіть при відсутності базової інфраструктури, такої як дороги, водопостачання, каналізація та зв'язок. Багато подібних досліджень вже було зроблено і розглянуто енергетичні можливості майже всіх країн світу. Переваги запропонованих мікромереж полягають в можливості автономного живлення і майже повна відмова від централізованого електропостачання. Вже використали концепцію створення мікромереж в населеному пункті Вішакхапатнам (Vizag) район Андхра-Прадеш з метою генерування електроенергії саме з відновлюваних джерел енергії [1–3].

Була розроблена мікромережа, що містить декілька джерел генерації, щонайменше, одне з яких є поновлюваним а інші, дають можливість акумулювати енергію певний час. За результатами цього дослідження стало зрозуміло, що ринок сонячних панелей зростає в зв'язку кліматичними умовами, характерними для Індії. Провівши дослідження, можна спрогнозувати збільшення кількості встановлених панелей для мікромереж, але в залежності від кліматичних умов пропонується використовувати малі ГЕС, ВЕС і навіть дизель-генератори, і тільки комплексне їх поєднання дозволяє забезпечити електроенергією важкодоступні регіони країни.

В Україні ситуація з електропостачанням не набагато краще, основною проблемою є аварійні відключення або незадовільні показники якості електроенергії, які викликані низькими темпами оновлення електрообладнання підстанцій і ліній електропередач. Створення мікромереж теж може стати вирішенням багатьох проблем. Фінансово вигідним створення мікромереж може бути підприємствам АПК, чий потужності, як правило, доцільніше розташовувати ближче до баз сировини і, відповідно, далі від якісного електропостачання [5–8].

Міні-ТЕЦ

Використання розосереджених джерел енергії для створення мікромереж завжди зіштовхується з проблемами акумулювання енергії, сезонності її генерування. Одним із шляхів вирішення цих проблем це є застосування міні-ТЕЦ [7].

В перспективі на основі газогенераторного котла планується реалізувати міні-ТЕЦ, блок-схема якої представлена на рис. 1.

Для того щоб міні-ТЕЦ швидко себе окупила, можна використовувати газогенераторний котел вдосконаленої будови.

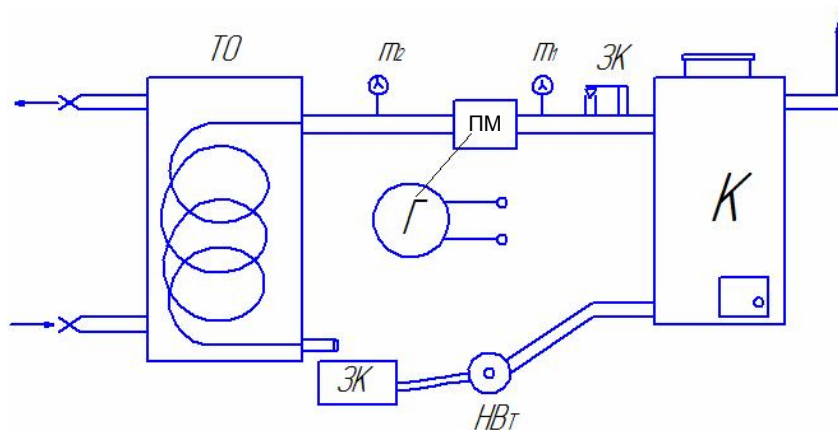


Рис. 1. Схема міні-ТЕЦ: К – котел; ЗК – зливний клапан; М – манометр; ПМ – парова машина; Г – генератор; ТО – теплообмінник; ЗБ – збірник конденсату; НВТ – насос високого тиску

Вдосконалення будови газогенераторного котла

Суть запропонованого газогенераторного котла пояснюється рис. 2, на якому зображена схема газогенераторного твердопаливного котла.

Принцип дії і будова запропонованого газогенераторного котла полягає в тому, щоб спалювати генераторний газ одразу ж на виході зони газифікації та віддавати теплову енергію теплоносієві [9], який знаходиться безпосередньо в корпусі газогенераторного твердопаливного котла, який складається з корпусу, завантажувального бункера, камери газифікації з подовженими фурмами, кільцевого колектора, фурм направлених вверх під кутом 6...8° до горизонталі, на вихід газогенераторної камери встановлена форсунка-змішувач газу з повітрям, футерована камера згорання, трубчастий теплообмінник занурений в водяну сорочку і з'єднаний з димоходом, регулювання процесу горіння виконується заслінками в трубках первинного і вторинного повітря, надув повітря та підтримання температури теплоносія виконується за рахунок регулювання частоти обертів вентилятора. Газогенераторний твердопаливний котел працює таким чином. В завантажувальний бункер палива 2 через завантажувальний герметичний люк 3 завантажується паливо. Пальником через люк розпалу 11 розпалюємо паливо, при цьому відкриваємо заслінку самотяги 5, після розпалу палива закриваємо заслінку самотяги 5 та люк розпалу 11 і вмикаємо вентилятор 16. Через люк для очищення 15 спостерігаємо наявність нормального режиму роботи котла і регулюємо подачу первинного і вторинного повітря для повного згорання газу, індикатором якого є забарвлення полум'я в камері згорання 13. Якщо полум'я червоного кольору, то газ згорає в неповному обсязі і це свідчить про те

що потрібно зменшити подачу первинного повітря заслінкою подачі первинного повітря 20 і збільшити подачу вторинного повітря заслінкою 21 до досягнення синюватого відтінку полум'я. Закриваємо люк для очищення 15 і нагріваємо воду. Жолоб-збірник конденсату палива 6 збирає випаровану з палива та сконденсовану у верхній частині вологу та через відвідну трубку конденсату 7, що робить котел ефективнішим та дає можливість використовувати більш вологе паливо.

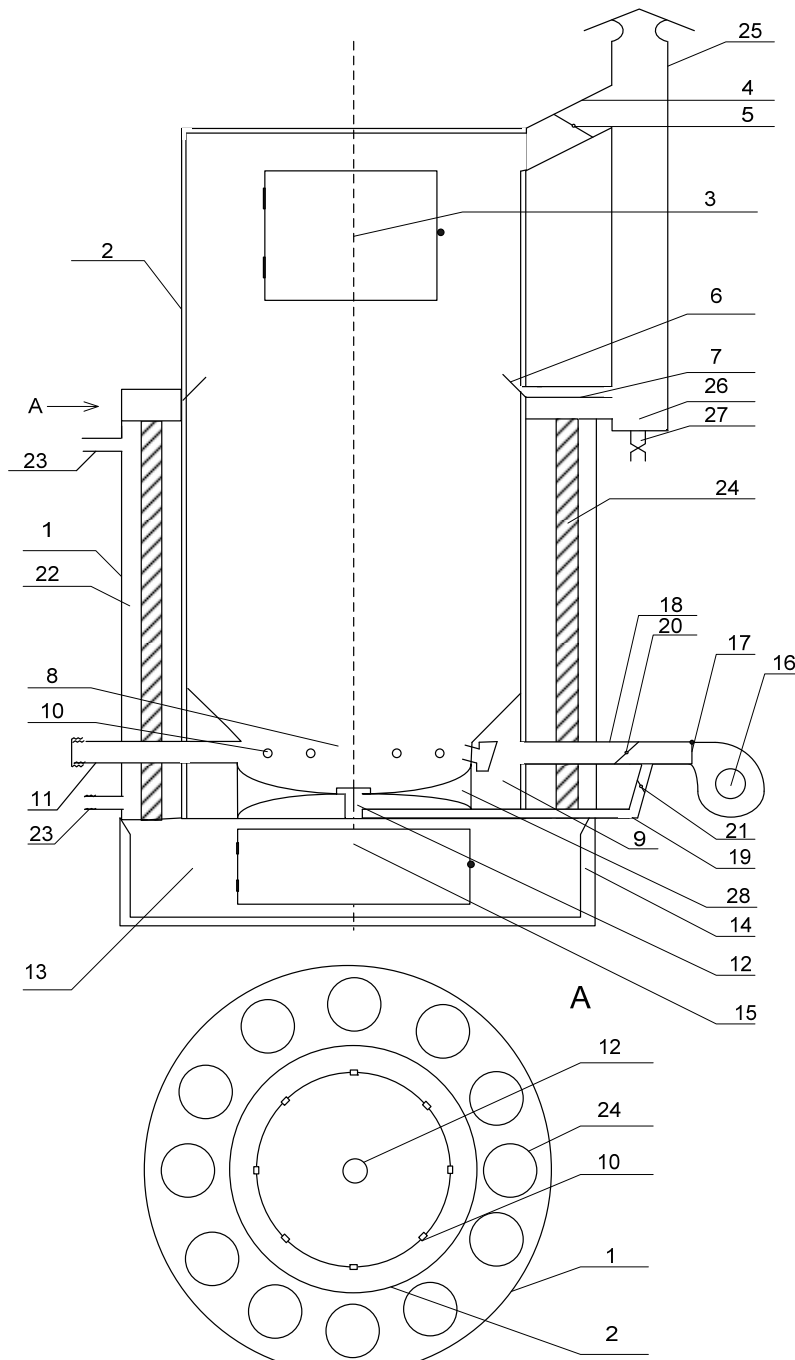


Рис. 2. Будова газогенераторного котла: 1 – корпус, 2 – бункер палива, 3 – завантажувальний герметичний люк, 4 – труба самотяги, 5 – заслінка самотяги, 6 – жолоб-збірник конденсату, 7 – відвідна трубка конденсату, 8 – камера газифікації, 9 – повітряний колектор, 10 – фурми, 11 – люк розпалу, 12 – форсунки змішувача, 13 – камера згорання, 14 – футеровка стінок, 15 – люк очищення, 16 – вентилятор, 17 – клапан зворотної тяги, 18 – трубки подачі первинного повітря і 19 – трубки вторинного повітря, 20 і 21 – заслінки регулювання, 22 – теплоносій; 23 – трубки відводу гарячої води, 24 – трубки теплообмінника, 25 – димохід, 26 – збірник конденсату, 27 – кран зливу, 28 – вогнетривке дно

Конструктивні рішення розробленого газогенераторного твердопаливного котла дозволяють зменшити габарити, металоемність та дають можливість використовувати не тільки сухе паливо, а й вологе паливо.

Зовнішній вигляд і показники роботи експериментального зразка

На рис. 3 показаний автомобільний газогенератор, який і є прототипом розробленого газогенераторного котла [7, 9]. На рис. 4 показаний зовнішній вигляд дослідного газогенераторного котла,

який був виготовлений за вдосконаленою схемою.

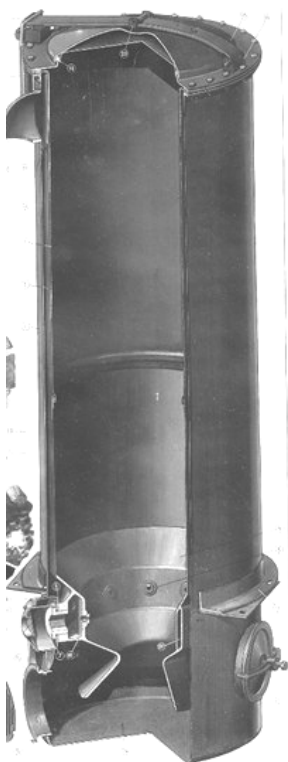


Рис. 3. Автомобільний газогенератор



Рис. 4. Дослідний зразок газогенераторного котла

На рис. 5-6 представлені деякі елементи газогенераторного котла:



Рис. 5. Зовнішній вигляд завантажувального бункера



Рис. 6. Вентилятор і засоби регулювання

Існуючі газогенераторні промислові котли на даний час є досить дорогими для звичайного споживача (населення та малого бізнесу). Їх вартість перевищує 12 тис. грн за котел потужністю 10 кВт. Тому актуальною є задача створення вдосконаленого газогенераторного котла з меншою вартістю, що є можливим на основі спрощення конструкції і зменшення собівартості його виготовлення. Шляхом експериментальних досліджень було встановлено, що спалювання 3–5 кг твердої породи деревини дозволяє нагріти та довести до кипіння 180 л води протягом 2 годин. В режимі опалювання даний котел спалює від 40 кг до 60 кг твердої породи деревини за добу для опалювання приміщення площею 200 м². Витрата палива залежить від температури навколишнього середовища. В запропонованому котлі можна спалювати побутові відходи: полімери, пластмаси, гуму та ін., з мінімальним забрудненням навколишнього середовища.

Висновки та перспективи розвитку

Створення мікромереж, враховуючи досвід інших країн, таких як Індія, є перспективним напрямком забезпечення якісною електроенергією споживачів віддалених районів. Залежно від типу і графіку навантаження типовою села, розташованого в віддаленому районі, автономна система генерування електроенергії, яка базується на локальних поновлюваних джерелах енергії, може мати різні конфігурації, але виходячи з географічного положення та наявності різних джерел енергії. Для України може бути актуальним напрямком використання міні-ТЕЦ, як рішення проблем електрифікації і теплофікації сільських районів, де мереж немає або є суттєві проблеми з їх експлуатацією. Вдосконалення будови газогенераторного твердопаливного котла дозволило зменшити габарити, металоємність та дало можливість використовувати не тільки сухе паливо, а й вологе. На даний час проводяться експерименти з

газогенераторним котлом для переведення його на режим пароутворення з метою генерування електроенергії за допомогою парової турбіни та парової машини. В зв'язку з тим що парова турбіна створює багато шуму і викликає дискомфорт в підсобному господарстві планується використовувати парові машини на основі промислового двигуна внутрішнього згорання шляхом заміни в ньому газорозподільного механізму та модернізації системи змащування.

Література

1. Che Yanbo, Ren Jingding, Liu Kun. Construction of multi-energy micro-grid laboratory // 4th IEEE International Conference Power Electronics Systems and Applications (PESA).– 8–10 June 2011. – P. 1–5.
2. Parimita Mohanty, G. Bhuvaneswari, Balasubramaniam D. Optimal Planning and design of Distributed Generation based micro-grid // 2012 7th IEEE International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS). – 6–9 Aug. 2012. – P. 1–6.
3. Wen-Chih Yang, San-Yi Lee. Development of Operation Procedures of Distributed Generation Sources in a Micro-Grid // Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing (ICGEC). – 13–15 Dec. 2010. – P. 185–188.
4. Cameron L Smallwood. Distributed Generation in Autonomous and Non-Autonomous Micro Grids // Rural Electric Power Conference. IEEE, Colorado Springs. – 05 May 2002–07 May 2002. – P. D1 – D1-6.
5. Матвійчук В.А. Особливості електропостачання потужних підприємств АПК з використанням мікромереж та розподілених джерел електроенергії / В.А. Матвійчук, О.С. Рубаненко, О.О. Рубаненко // Всеукраїнський науково-технічний журнал: Техніка. Енергетика. Транспорт – 2015. – № 2 (90). – С.117–123.
6. Лежнюк П.Д. Вплив РДЕ на втрати активної потужності в ЛЕС / П. Д. Лежнюк, О.О. Рубаненко, І.О. Гунько // Всеукраїнський науково-технічний журнал: Техніка. Енергетика. Транспорт. – 2015. – № 3 (92). – С. 84–89.
7. Матвійчук В.А. Розробка газогенераторного котла для отримання теплової енергії в сільському господарстві шляхом використання біовідходів / В.А. Матвійчук, О.М. Дмитришен, О.О. Рубаненко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1(89). – С. 149–150.
8. Лежнюк П. Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС / П. Д. Лежнюк, О. С. Рубаненко, І. О. Гунько // Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 134–139.
9. Пат. 93810 Україна, МПК8 G10J3/20. Транспортний газогенератор / Ключ С.В. ; заявник і патентотримувач Інституту відновлювальної енергетики Національної академії наук України. – заявл. 04.06.14 ; опубл. 10.10.14. Бюл. № 19, 2014 р.

Рецензія/Peer review : 4.4.2016 р. Надрукована/Printed :18.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., доцент Стаднік М.І.

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 331.47(100)

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, Я.О. ЯЩЕНКО, А.А.МЕЛКОНЯН, А.О. БУРМИСТРОВА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет»

**ТЕКСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ЯК БАР'ЄР ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ
ВІД НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

В статті розглянуто проблему впливу людини на навколишнє природне середовище, що супроводжується небаченими раніше інтенсифікацією і глобалізацією негативних наслідків цього впливу. В останні роки відбувається сильне забруднення повітря, пов'язане з розширенням осередків промисловості, з механізацією, автоматизацією багатьох сфер нашого життя. Але є і зворотній бік – негативний вплив навколишнього середовища на здоров'я людини. Саме текстильні матеріали і є тим захисним бар'єром між тілом людини та негативним впливом навколишнього середовища на її здоров'я. Вивчення залежності гігієнічних властивостей тканини від її структури, контроль якості текстильних матеріалів та ступінь захисту людини за їх допомогою від забруднення довкілля є важливою актуальною задачею. Було проаналізовано стан середовища та його вплив на здоров'я людини, визначено способи захисту людини від впливу на її здоров'я пилу. Проаналізовано методи визначення пилоємності та пилопроникності матеріалів. Після урахування всіх недоліків був вибраний такий метод контролю гігроскопічних властивостей текстильних матеріалів, як телевізійно-інформаційна вимірвальна система, яка дозволяє з великим ступенем точності визначити пилоємність та пилопроникність текстильних матеріалів. Наявність програмного забезпечення дозволяє мобільно виводити результати на екран, що сприяє зменшенню похибок вимірювання та проведення якісного контролю.

Ключові слова: контроль, якість, вплив, тканина, трикотаж, текстильні матеріали.

N.M. ZASHCHEPKINA, J.A. YASHCHENKO, A.A. MELKONYAN, A.A. BURMISTROVA

National technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic University"

**TEXTILE MATERIALS AS A BARRIER TO PROTECT HUMAN HEALTH WSC
NEGATIVE ENVIRONMENTAL IMPACT**

The article considers the problem of human impact on the environment, which is accompanied by an unprecedented intensification and globalization, the negative consequences of this action. In recent years there is a strong air pollution associated with the foci of industry, the mechanization, the automation of many aspects of our lives. But there is a downside – the negative impact of the environment on human health. It is textile materials and is the protective barrier between the body and the negative impact of the environment on his health. A consideration of the hygienic properties of the fabric from its structure, quality control of textile materials and the degree of protection by means of them from the pollution of the environment is an important topical problem. Analyzed the status of the environment and its effects on human health, identified ways to protect people from the effects on her health dust. The methods of determining palm Costa and Peloponnesus textile materials.

After all faults, have you chosen this method of controlling the hygroscopic properties of textile materials, such, as television information-measuring system, which allows a high degree of accuracy to determine palm Costa and Peloponnesus textile materials. The availability of the software allows a mobile to show the results on the screen, which contributes to a reduction of measurement errors and carrying out quality control.

Keywords words: control, quality, effect, fabric, knitwear, textile materials.

Вступ. Характерною особливістю нашого часу є інтенсифікація та глобалізації впливу людини на навколишнє природне середовище, що супроводжується небаченими раніше інтенсифікацією і глобалізацією негативних наслідків цього впливу. Проблема забруднення природного середовища стає настільки гострою через зростання обсягів промислового і сільськогосподарського виробництва та у зв'язку з якісною зміною виробництва під впливом науково-технічного прогресу.

Постановка проблеми. Проблема забруднення природного середовища гостро постала після того, як людство суттєво розширило кількість металів, стало виготовляти синтетичні волокна, пластмаси та інші речовини, що мають властивості, не тільки не відомі природі, але шкідливі для організмів біосфери. Ці речовини (кількість і різноманітність яких постійно зростає) після їх використання не надходять в природний кругообіг. Відходи виробничої діяльності все більше забруднюють літосферу, гідросферу та атмосферу Землі. Адаптаційні механізми біосфери не можуть впоратися з нейтралізацією збільшення кількості шкідливих для її нормального функціонування речовин, і природні системи починають руйнуватися.

В останні роки відбувається сильне забруднення повітря, пов'язане з розширенням осередків промисловості, з механізацією, автоматизацією багатьох сфер нашого життя. Дія шкідливих речовин, що потрапляють в повітря, може посилюватися їх взаємними реакціями між собою, накопиченням, великою тривалістю їх знаходжень в повітрі, особливими метеоумовами та іншими факторами. У районах, де спостерігається висока щільність населення, скупчення заводів і фабрик, велика насиченість транспорту, забруднення повітря особливо зростає. У періоди, коли забруднення досягає високого рівня, багато людей скаржаться на головний біль, подразнення очей і носоглотки, нудоту і загальне погане самопочуття. Присутність суспензії кислоти, головним чином сірчаної, корельоє з почастішанням нападів астми, а з-за

чадного газу виникають ослаблення розумової діяльності, сонливість і головний біль. З високими рівнями суспензій, що діють протягом тривалого часу, пов'язують респіраторні захворювання і рак легень. Однак всі ці фактори можуть різною мірою впливати на різні аспекти здоров'я. У деяких випадках забруднення повітря сягає настільки високих рівнів, що призводило до смертельних наслідків

Основна кількість текстильних матеріалів, які сьогодні випускаються промисловістю, використовується для виробництва одягу. Одяг необхідний людині для захисту тіла від несприятливих впливів зовнішнього середовища — низької та високої температури, надмірної радіації, вітру, дощу, снігу тощо. Крім цього тканина або трикотаж захищають шкіру, оберігають поверхню тіла людини від механічних і хімічних ушкоджень, пилу, бруду, мікроорганізмів, укусів комах і тварин. Саме текстильні матеріали і є тим захисним бар'єром між тілом людини та негативним впливом навколишнього середовища на її здоров'я.

Виклад основного матеріалу. Основними показниками гігієнічних властивостей тканин та трикотажу є: відсутність в текстильних матеріалах шкідливих для людського організму речовин, а також сорбційні та теплозахисні властивості тканин та трикотажу.

Проникність текстильних матеріалів характеризується їх гігроскопічністю, водо- та пилопроникністю тощо. Як відомо, гігроскопічність — здатність матеріалу поглинати водяні пари з навколишнього атмосфери і утримувати їх при певних умовах. Це одна з найважливіших властивостей. Гігроскопічність текстильних матеріалів змінюється зі зміною відносної вологості повітря і температури, не залишаючись при цьому постійною. Якщо б вміст вологи в матеріалах не змінювався при зміні температури і вологості, то гігроскопічні властивості тканин та трикотажу втратили б своє значення в гігієнічному відношенні. Текстильні матеріали з певною гігроскопічністю є регулятором тепла між тілом людини та навколишнім середовищем [1].

Гігроскопічність матеріалів залежить від їх волокнистого складу, структури, обробки та ін. Обмін тепла між тілом одягненої людини і навколишнім середовищем — складне і різноманітне явище, в якому мають місце різні біологічні і фізичні процеси, що при цьому сутність теплозахисного дії одягу не залишається однаковою. Вона змінюється в залежності від роду одягу, кліматичних умов та умов праці, стану організму людини і визначається різними властивостями текстильних матеріалів.

Забруднення повітря викидами промислових підприємств і автомобільними вихлопними газами завдає непоправної шкоди органам дихання людини. Особливо страждають жителі мегаполісів, велосипедисти, працівники ДАІ, люди, робота яких безпосередньо пов'язана з постійним пересуванням по місту. Недостатній асортимент та обсяг інформації щодо способів респіраторного захисту призводить до багаторазових захворювань органів дихання людини. Поліпшення якості та розширення асортименту товарів народного вжитку — одне з головних завдань економіки будь-якої країни.

В умовах ринкової економіки якість продукції значною мірою визначає її конкурентоспроможність. Асортимент і якість продукції текстильної промисловості, нерозривно пов'язані з матеріальним і культурним рівнем життя населення.

Небезпечні речовини можуть бути у формі твердих або рідких аерозольних часток, газів, парів або випарів. Чим менше розмір часток пилу, тим довше вони знаходяться в повітрі у зваженому стані і тим вище ймовірність того, що вони потраплять всередину з повітрям, проникнуть в легені. Маски допомагають запобігти утворенню основних небезпечних захворювань, так як відомо, що такі речовини як пірен і бензол, які містяться у вихлопних газах, є онкогенними. Пари і гази побачити неможливо, навіть, коли вони в дуже великих концентраціях.

На відміну від твердих і рідких аерозольних частинок, організм практично ніяк не протистоїть впливу газів і парів. При вдиханні пари і гази потрапляють безпосередньо в легені і вже звідти безперешкодно проникають у кровоносну систему. Пройшовши по кровоносній системі, вони завдають шкоди внутрішнім органам і головному мозку [2].

Таким чином, вивчення залежності гігієнічних властивостей тканини від її структури, контроль якості текстильних матеріалів та ступінь захисту людини за їх допомогою від забруднення довкілля є важливою актуальною задачею. Створення фільтруючих матеріалів, що поєднують продуктивність з високою утримуючою здатністю, є на сьогодні найважливішим завданням, успішному вирішенню якого сприяє як правильний вибір конструкцій фільтрувального апарату, умов процесу фільтрації, так і вибір самих фільтрувальних матеріалів.

Матеріал одягу людини також в повсякденному житті виступає в якості фільтрувального матеріалу від різного сорту забруднень. Виконання основних функцій респіраторного захисту можна досягти, використовуючи певну товщину текстильних матеріалів, комбінацію матеріалів, багатошарову будову. Останнім часом постало питання в розробці поліфункціональних текстильних матеріалів, шари яких мали б діаметрально протилежні властивості.

Існують декілька способів отримання потрібного результату, а саме: 1) поєднання сировини з різними властивостями в процесі ткацтва чи в'язання; 2) створення багатофункціональних багатошарових композиційних текстильних матеріалів, шари яких виготовлені з сировини з різними властивостями.

Тому, актуальним є визначення та контроль пилопроникності та пилоємності текстильних матеріалів. Ці показники в першу чергу залежать від структури матеріалів, а саме від розмірів чарунок, через які проходить повітря з пиловими частками до тіла людини.

Для контролю кількості пилових часток необхідно визначити ці гігроскопічні властивості

матеріалів.

На даний момент існує декілька методик визначення пилоємності та пилопроникності текстильних матеріалів, заснованих на методі вагового аналізу [3].

Визначення пилоємності та пилопроникності текстильних матеріалів проводиться традиційним прямим способом визначення, за яким коефіцієнти пилоємності оцінюють по приросту ваги зразка та перепаду тиску повітря, яке протягом певного часу пропускають через запилений матеріал.

Недоліком відомого способу є неможливість визначення тривалості та динаміки процесу затримання пилу зразком. Крім того спосіб не враховує силового впливу повітряного потоку на структуру випробуваного зразка, що є істотним, особливо для текстильних матеріалів, які легко деформуються, і саме це, впливає на об'єктивність результатів.

Так само існує спосіб визначення пилопроникності по пилоємності показника, що полягає у впливі на зразок текстильних матеріалів пилоповітряної суміші протягом заданого проміжку часу і в певній кількості пилу. Недоліком цього способу є непряме визначення пилопроникності, тобто визначається пилоємність.

Незважаючи на те, що ці показники взаємопов'язані, проте вони визначають різні характеристики текстильних матеріалів: пилопроникність характеризує гігієнічні властивості, а пилоємність – здатність текстильних матеріалів до забруднення. Саме тому визначення цих показників вимагає різних умов і визначати один показник через інший не завжди виправдано.

Аналіз існуючих методик і приладів для визначення пилоємності дозволяє зробити висновок про те, що вони не забезпечують високої об'єктивності в оцінці та контролі якості текстильних матеріалів. Для визначення пилоємності тканин з урахуванням умов експлуатації розроблено новий спосіб. Його мета є в моделюванні реальних умов експлуатації спецодягу та захисних засобів з текстильних матеріалів.

За основу був вибраний відомий прямий метод визначення пилоємності, після якого коефіцієнт пилоємності оцінюють по приросту ваги зразка і перепаду тиску повітря, який протягом певного часу пропускають через запилений матеріал [3]. Недоліком відомого способу є неможливість визначення тривалості і динаміки процесу затримання пилу зразку. Крім того спосіб не враховує силової дії повітряного потоку на структуру випробуваного зразка, що є істотним, особливо для текстильних матеріалів, які легко деформуються, і саме це впливає на об'єктивність результатів [4].

В новому способі для контролю пилоємності та пило проникності використовуються телеметричні інформаційно-вимірювальні системи, що дозволяє в короткий термін досліджувати та контролюванні відсоток пилу на матеріалі, динаміку заповнення та знижувати відсоток похибки вимірювання за рахунок мобільності системи та відсутності деформації матеріалів при дослідженні.

Висновки

Було проаналізовано стан середовища та його вплив на здоров'я людини, визначено яким чином можна захистити людину від впливу на нею пилу. Обрано методи контролю. Після урахування всіх недоліків був вибраний такий метод контролю гіроскопічних властивостей текстильних матеріалів, як телевізійно-інформаційна вимірювальна система, яка дозволяє з великим ступенем точності визначити пилоємність та пилопроникність текстильних матеріалів, а наявність програмного забезпечення дозволяє мобільно виводити результати на екран, що сприяє зменшенню похибок вимірювання та проведенню якісного контролю.

Література

1. Шустов Ю.С. Основы текстильного материаловедения / Шустов Ю.С. – М. : МГТУ им. А.Н. Косыгина. ООО «Совьяж Бево». 2007. – 303 с.
2. Защепкіна Н.М. Захист органів дихання людини від негативного впливу навколишнього середовища / Н.М. Защепкіна, Н.Р. Терентьева // Вісник Житомирського державного технічного університету. – 2014 – № 3(70). – С. 109–112.
3. Коузов Т.А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей / Коузов Т.А. Л. : Химия. 1989. – С. 30–40.
4. Защепкіна Н.М. Вивчення методів дослідження пилоємності та пилопроникності текстильних матеріалів / Н.М. Защепкіна, А.А. Мелконян, Я.О. Ященко, А.О. Бурмистрова // Збірник наукових праць. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – № 1. – С. 26–27.

Рецензія/Peer review : 24.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Здоренко В.Г.

I.A. МАНДЗІЮК, Т.В. ІВАНІШЕНА, К.О. ПРИСЯЖНА, О.П. МАНДЗІЮК
Хмельницький національний університет

РОЗРАХУНОК ЛЮДСЬКОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТОКСИЧНОСТІ ШЛЯХОМ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА БІОТЕСТ-ОБ'ЄКТАХ

У межах концепції «зелені товари», «зелені виробництва», що пов'язані з екологічними питаннями і охороною навколишнього середовища, проведено біотестування матеріалів для виготовлення взуття. Розраховані летальні концентрації по кожному з досліджених матеріалів. Запропоновано алгоритм трансформації результатів біотестування на нижчих організмах до розрахунку показника токсичності для людини.

Ключові слова: токсичність, людський потенціал токсичності, летальна концентрація.

I.A. MANDZIUK, T.V. IVANISHENA, K.O. PRYSIAZHNA, O.P. MANDZIUK
Khmelnitsky national university

ENVIRONMENTAL SAFETY STUDY MATERIAL FOR MAKING

Within the concept of "green products", "green production" related to environmental issues and environmental protection, bioassay conducted materials for the manufacture of footwear. The estimated lethal concentration for each of the investigated materials. The algorithm transformation bioassay results in lower organisms to calculate indicator of toxicity to humans. The results of calculations indicate that the shoe material enough to significantly affect the value of human potential toxicity and importance of the human factor damage more sensitive test - object the absolute values of indicators is D. Magna. Established that by getting the most dangerous toxic substances to humans is direct contact materials with human skin.

Keywords: toxicity, human potential toxicity, lethal concentration.

Постановка проблеми

Вагомим фактором впливу на розвиток соціуму в третьому тисячолітті є зростання значення глобальних процесів та проблем, пов'язаних з оточуючим середовищем. Актуальними питаннями, що є невід'ємною складовою розвитку суспільства, стає антропогенне забруднення навколишнього природного середовища, виснаження природних ресурсів. Масштаби цих явищ досягли таких розмірів, що можна цілком обгрунтовано говорити про наявність екологічної планетарної кризи в цілому [1].

Практично вся господарська діяльність людини пов'язана з емісією у навколишнє природне середовище різних шкідливих домішок, концентрація яких перевищує межі самовідновлення екосистеми і може спричинити в ній незворотні зміни. Беззаперечним фактом, сьогодні є та обставина, що у світі практично не існує екологічно чистої продукції. Продукція яку ми виготовляємо і користуємося, починаючи із сировини, містить речовини, які становлять небезпеку безпосередньо для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Принципово новою рисою сучасного розвитку стає «екологізація» всіх сфер життя і діяльності суспільства, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Важливість охорони навколишнього середовища і аналіз можливих впливів, пов'язаних з виготовленням і споживанням продукції, підвищує інтерес до розробки, удосконаленню методів, спрямованих на аналіз, визначення цих впливів та розробку шляхів їх усунення. Визначення негативного впливу на живі організми, в тому числі людину, зовнішніх факторів пов'язано з необхідністю проведення експериментальних досліджень. Основними об'єктами в цих дослідженнях є дослідні групи добровольців, або в більшості випадків тварини. Але ту є декілька негативних моментів пов'язаних із гуманним відношенням до теплокровних і значною тривалістю досліджень. Враховуючи зазначене доцільним слід вважати проведення біотестів на простих організмах роду водних ракоподібних та плаваючих або занурених у воду рослин з родини Ароїдних. Біотестування з залученням цих об'єктів дозволить скоротити матеріальні витрати, час досліджень і отримати попередню, орієнтовну інформацію, що до шкідливості факторів дії, на тварин і людину. Відомо ряд досліджень з метою встановлення кореляційного зв'язку результатів визначення гострої токсичності для *Daphnia magna* [2], навозного хробака *Eisenia* [3] із результатами визначення летальної дози для ссавців гризунів. Основна складність при цьому буде полягати у виборі методичного підходу до трансформації, перенесення отриманих результатів для нижчих безхребетних організмів, до людини.

Аналіз досліджень та публікацій

Одним з ефективних методів, що дозволяє здійснювати прогнозування і розрахунок факторів впливу на організм людини тих чи інші матеріали та виробів із них є оцінка життєвого циклу LCA [4]. Вперше використання LCA для аналізу процесу виробництва взуття і порівняння ступеню екологічної небезпечності взуттєвих матеріалів з використанням біотестоб'єктів описано в [5]. Встановлено, що найбільш екологічно небезпечною стадією виробництва взуття є процеси збирання деталей взуття у виріб, а найбільший ступінь токсичності проявляють матеріали низу взуття, натуральна шкіра для верху, шкір підкладка, шкіркартон.

Дослідження і публікації, де б визначався вплив на здоров'я людини матеріалів взуття при щоденному його використанні, авторам цієї статті не відомі.

Одним з критеріїв, що активно розробляється і використовується у LCA є «токсичність впливу на людину». Його прийнято визначати за показником людського потенціалу токсичності (Human toxicity potential (HTP)). HTP – розрахунковий показник, який відображає потенційну шкоду для людини одиниці хімічної речовини, що потрапляє в навколишнє середовище. Він заснований на специфічних ознаках токсичності і його потенційної дози. Людський потенціал токсичності оцінюється в еквівалентах діхлорбензолу (DCB) або хлор етилену [6].

Для того, що б спробувати використати результати з біотестування здійснені на нижчих організмах, до розрахунку величини людського потенціалу токсичності спробуємо спочатку з'ясувати шляхи потрапляння токсичних речовин у організм людини.

Маршрути впливу хімічних, забруднюючих речовин на людину, через вдихання, вживання в їжу продукції (риби, молока, м'яса) і через шкіру при контакті з водою та ґрунтом, можна представити наступним чином (рисунок 1) [7].

Розрахунок HTP виконують за критеріями токсичності [8]:

- ADI – допустиме добове вживання, нижче якого не очікується ніякого не допустимого ризику негативного впливу. Встановлення ADI базується на основі NOAEL;
- NOAEL – це найвища доза, яка не викликає негативного ефекту по відношенню до живого організму;
- ED₁₀ – найкраща оцінка дози, яка викликає 10% ризику для людей.

Всесвітня організація здоров'я, для визначення кількості ефектів на здоров'я людини на рівні кінцевої точки екологічного механізму, тобто з точки зору фізичного впливу, такого як, наприклад, втрата тривалості життя, запропонувала використовувати індикатори [8]:

- QALY (життєздатні роки життя) – використовують в якості медичних індикаторів ефектів, щоб допомогти виміряти стан здоров'я людини;

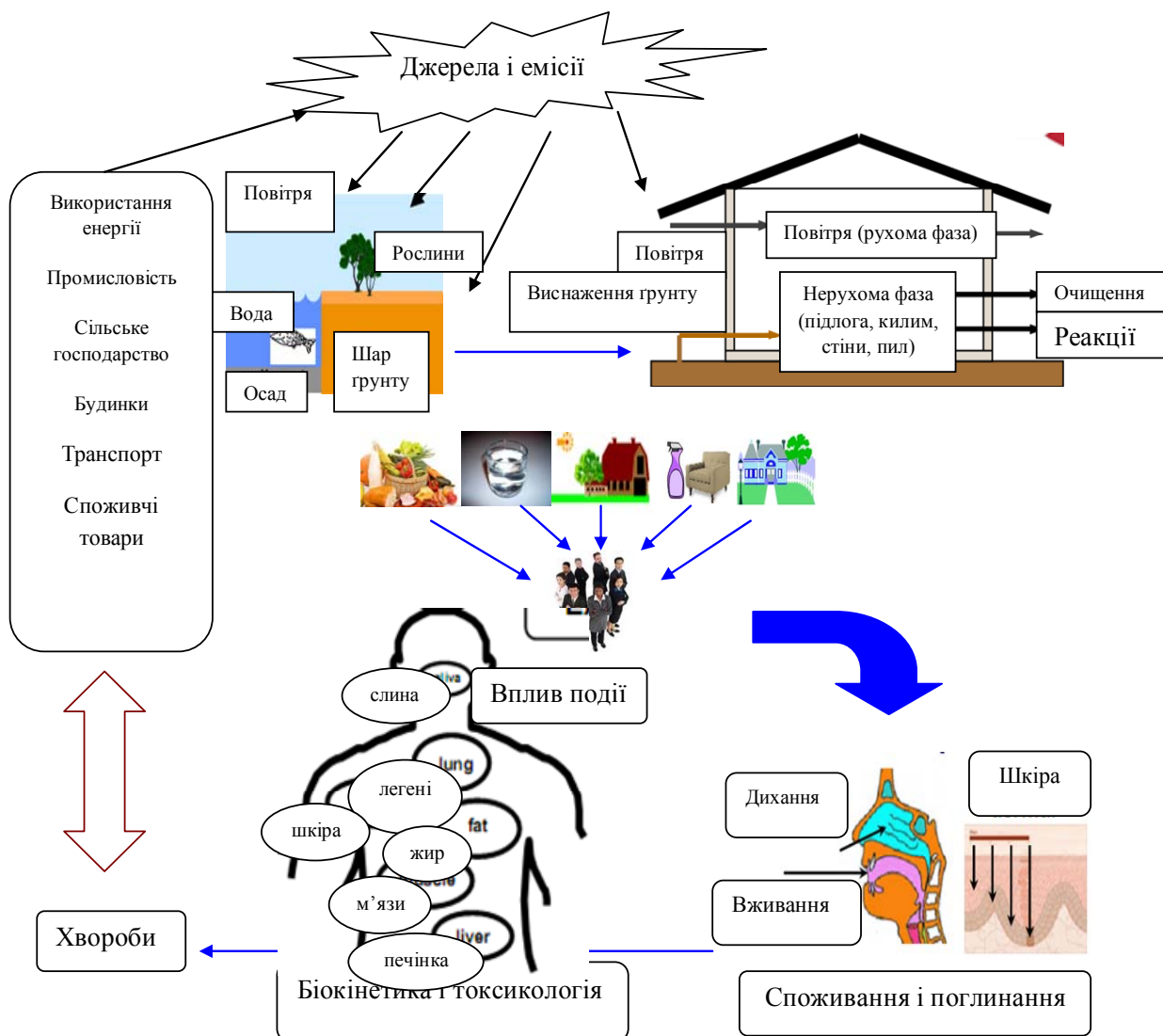


Рис. 1. Схема шляхів впливу на людину забруднюючих речовин [9]

- DALY (не життєздатні роки життя), встановлює компроміс між передчасною смертю (вираженою як втрачені роки життя (YOLL), і роки життя з інвалідністю (YLL), Індикатор YOLL (втрачені роки життя), використовується для того щоб виміряти зменшення тривалості життя, що слідує із підвищеного рівня впливу забруднювача в навколишньому середовищі. Втрачені роки життя вважають, як відповідний індикатор на рівні пошкодження, який може бути визначений у кількісній мірі.

Визначення впливу хімічної речовини через певний маршрут та розрахунок показника людської токсичності і його критеріїв здійснюють за допомогою ряду моделей [10]. За сукупністю критеріїв, що розраховуються для кожної моделі нами у подальшому використанні ІMPACT 2002+, CaITOX, USEtox.

Виділення невирішених частин

Відсутні експериментальні дослідження та теоретичні пропозиції, розробки стосовно можливості перенесення, трансформації результатів з визначення токсикологічних показників для безхребетних організмів на величину токсичного впливу на людину.

Формулювання цілей

Розробка алгоритму розрахунків показника потенціалу токсичної дії на людину (НТР) небезпечних речовин, що містяться у взуттєвих матеріалах, за показником LC₅₀ визначеним на тест об'єктах: дафнія *Daphnia magna*, ряска мала *Lemna minor*.

Задачі досліджень

Проведення біотестування водних витяжок із взуттєвих матеріалів на тест-об'єктах дафнія *Daphnia magna*, ряска мала *Lemna minor*. Розрахунок LC₅₀, співставлення результатів LC₅₀ із результатами LD₅₀ ссавців - гризунів з використанням логістичної регресії для подальшого визначення людського потенціалу токсичності.

Методи досліджень

У відповідності до мети і задач досліджень для розрахунку людського потенціалу токсичності (НТР), обрано наступні моделі: ІMPACT 2002+, CaITOX, USEtox [11, 12].

Біотестування з використанням *Daphnia magna* виконували у відповідності до [13], на тест об'єкті *Lemna minor* за [14, 15].

Тестували наступні взуттєві матеріали: шкіркартон (ГОСТ 9542–89), шкірпідкладку (ГОСТ 940-81), вінілісшкіру НТ взуттєву(ГОСТ 28143-89), картон целюлозний Kariboard, шкіру для верху взуття (ДСТУ 2726-94).

Водні витяжки з досліджених матеріалів готували у відповідності до рекомендацій [16]. Досліджуваний матеріал подрібнювали на шматочки розміром 1x1 см, заливали дистильованою водою у співвідношенні =1:10 маса зразка : маса води, і витримували протягом 3 діб за кімнатної температури (22 +2⁰С), а потім додатково при 37⁰С протягом 6 годин.

Результати

Головна ідея здійснених досліджень полягала у розробці наступного алгоритму дій. З метою вивчення негативного впливу на людину матеріалів, з яких виготовляють взуття, отримано результати з визначення токсичної дії водних витяжок на нижчих організмах (*Daphnia magna* та *Lemna minor*). Ці результати трансформували у відповідні кількісні показники токсичності для ссавців (гризуни). А вже від них запропоновані шляхи переходу до визначення ступеню небезпечності для людини.

Для ряду хімічних речовин, що наведені у [17], зроблено співставлення (LC₅₀) для *D. Magna* та *Lemna minor* із значеннями (LD₅₀) для щурів (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Токсичність шкідливих речовин для *Lemna minor* (LC₅₀) та щурів (LD₅₀) [18–22]

Назва шкідливої речовини	EC ₅₀ , мг/л	LD ₅₀ , мг/кг (щур)
Ацетон	11400	5800
Глифосат	6,0	5600
Тербутилазін	3,33	2148
Гексазінон	0,072	1690

Таблиця 2

Токсичність шкідливих речовин для *D. Magna* (LC₅₀) та щурів (LD₅₀)

Назва шкідливої речовини	LC ₅₀ , мг/л	LD ₅₀ , мг/кг (щур)
1	2	3
Етиленгліколь	48582	4698,7
Натрій бромід	15322	3500
Натрій хлорид	1022,6	3000
Тетрахлорметан	69,37	2800
Хлороформ	64,23	800
Станум (II)хлорид	60,8	700
Хінін сульфат	44,8	455,8

Продовження табл. 2

1	2	3
п-хлороанілін	13	340
Ферум (III)сульфат	14,28	319
Тіометон	5,49	70
Пентахлорофенол	0,44	50
Гідраргіум (II) хлорид	0,0027	37
Паратіон	0,002189	13
Параоксон	0,00055	1,8

На основі даних таблиці 1,2 за допомогою кривої логістичної регресії розраховані значення ймовірності летального випадку (P) та LD₅₀ ссавців для взуттєвих матеріалів (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Результати ймовірності летального наслідку, LD₅₀ для ссавців за тест-об'єктом Lemna minor

Матеріал	LC ₅₀ , мг/л	P	LD ₅₀ , мг/кг
Шкіра для верху взуття ДСТУ 2726-94	64,6	0,46	4700
Шкірпідкладка ГОСТ 940-81	794	0,421	6671,2
Шкіркартон ГОСТ 9542-89	870	0,42	6738,3
Целюлозний картон Kariboard	295	0,44	5627
Вінілісшкіра-НТ взуттєва ГОСТ 28143-89	144,5	0,45	5143,02

Таблиця 4

Результати ймовірності летального результату, LD₅₀ для ссавців за тест-об'єктом D. Magna

Матеріал	LC ₅₀ , мг/л	P	Z	LD ₅₀ , мг/кг
Шкіра для верху взуття ДСТУ 2726-94	9,55	0,87	1,9	250,5
Шкірпідкладка ГОСТ 940-81	93,3	0,05	-2,9	883,8
Шкіркартон ГОСТ 9542-89	6918,3	0,03	-3,48	1037,3

Величина LD₅₀ для ссавців, за моделлю USEtox дає можливість розрахувати концентрацію NOAEL та еквівалентні дози для людини (HED):

$$HED = NOAEL_{\text{тварини}} \cdot \left(\frac{W_{\text{тварини}}}{W_{\text{людини}}} \right)^{(1-b)} \quad (1)$$

де $NOAEL_A$ – найвища концентрація, яка не викликає ефекту у тварини, мг/м³;

$W_{\text{тварини}}$, $W_{\text{людини}}$ – маса тіла тварини та людини відповідно, кг;

b – кут нахил лінії, отриманої з рівняння:

$$Y = a \cdot W^b, \quad (2)$$

де a – коефіцієнт масштабування.

$$NOAEL_{\text{oral}} = \frac{LD_{50}}{120}, \quad (3)$$

де LD_{50} – летальна доза для тварини, яка викликає загибель 50% підослідних тварин.

$$NOAEL_{\text{der}} = NOAEL_{\text{oral}} \cdot \frac{BIO_{\text{oral}_1}}{BIO_{\text{der}_2}} \quad (4)$$

де $NOAEL_{\text{oral}}$ – найвищий рівень дози, який не викликає суттєвого підвищення негативних впливів в порівнянні з контрольною групою при пероральному шляху надходження, мг/кг_{BW}.

BIO_{oral_1} , BIO_{der_2} – біодоступність відповідно для перорального маршруту та маршруту крізь шкіру.

Результати розрахунків наведені в таблицях 5, 6.

Після визначення концентрації NOAEL, розраховували людський потенціал токсичності за моделлю

ІМПАКТ 2002 + та його основні індикатори ED_{50h}, EF, iF, HDF за моделлю USEtox. Значення потенціалу токсичності для кожного з тест-об'єктів наведено у таблицях 5, 6.

Таблиця 5

Результати отриманих значень для тест-об'єкту D. Magna

Матеріал	A _{migr} , кг, 10 ⁻⁶	U _{der} , кг/кг _{bw} , 10 ⁻⁶	NOAEL _{der} , мг/м ²	ED _{50,h} , кг	HDF		НТР, мг екв хлоретилена
					DALY/кг	DALY / людина/ рік, 10 ⁻⁶	
Шкіра для верху взуття ДСТУ 2726-94	550	7,8	12,48	0,045	0,068	13651	46896,5
Шкірпідкладка ГОСТ 940-81	2000	28,5	44,19	0,16	0,019	13870	13103,4
Шкіркартон ГОСТ 9542–89	685	9,8	51,84	0,065	0,047	11751	32413,8

Таблиця 6

Результати отриманих значень для тест-об'єкту Lemna minor L

Матеріал	A _{migr} , кг, 10 ⁻⁶	U _{der} , кг/кг _{bw} , 10 ⁻⁶	NOAEL _{der} , мг/м ²	ED _{50,h} , кг	HDF		НТР, мг екв хлоретилена
					DALY/ кг	DALY / людина/ рік, 10 ⁻⁶	
Шкіра для верху взуття ДСТУ 2726-94	550	7,8	235,02	0,84	0,00366	735	2530,4
Шкірпідкладка ГОСТ 940-81	2000	28,5	333,6	1,19	0,0026	1898	1793,1
Шкіркартон ГОСТ 9542–89	685	9,8	336,9	0,42	0,0073	1825	5034,5
Целюлозний картон Kariboard	635	9,07	281,34	0,35	0,0088	2039	6072,9
Вінілісшкіра-НТ взуттєва ГОСТ 28143-89	735	10,5	256,8	0,92	0,0033	885	2275,8

Отримані результати розрахунків свідчать про те, що взуттєві матеріали достатньо суттєво впливають на величину людського потенціалу токсичності (НТР) та значення людського фактору пошкодження (HDF). Більш чутливим тест-об'єктом за абсолютними значеннями показників є D. Magna.

Висновки

Розроблено алгоритм екстраполяції даних отриманих методом біотестування взуттєвих матеріалів на безхребетних організмах, а саме на D. Magna, Lemna minor L, та до токсичних концентрацій для теплокровних тварин (щур), а потім до людини при контакті з шкірою з використанням логістичної кривої.

Встановлено, що найнебезпечнішим шляхом потрапляння токсичної речовини до людини є безпосередній контакт матеріалів зі шкірою людини.

Література

1. Мельник Л.Г. Основи екології. Екологічна економіка та управління природокористуванням : підруч. / Л.Г.Мельник, М.К. Шапочка. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2007. – 759 с.
2. Lu Hcia Guilhermino Acute Toxicity Test with Daphnia magna: An Alternativeto Mammalsinthe Prescreening of Chemical Toxicity / Lu Hcia Guilhermino, Teresa Diamantino, M. CarolinaSilva, and A. M. Soares.
3. Neuhauser E. Comparative toxicityoftenorganicchemicalstofourearthwormspecies / E.Neuhauser, P. Durkin, M. Malecki, and M.Antara // Comp.Biochem. Physiol. – 1985. – № 8. – P. 197–200.
4. ГОСТ ISO 14040-99. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура (ISO 14040 -99, IDT). – Чинний від 2000 – 01 – 01. – М. : Госстандарт России, 2000. – 20 с.
5. Mandziuk I.A. Experimental methods of ecological safety evaluation of shoes warning materials / I.A. Mandziuk, V.N. Cimbaluk, T. Kleveckas, K.O. Prysiashna // Kannotecnologijos univrsitetas. – Kaunas. – 2010. – P. 186–193.
6. The Development of a Standard Tool to Predict the Environmental Impact of Footwear [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.bren.ucsb.edu/research/documents/Footprint_finalreport.pdf
7. Human Exposure Modelling [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.usetox.org/upload/institutter/ipl/.../2-3 human_exposure_modelling.pdf
8. Indicators for human toxicity in Life Cycle Impact Assessment [Електронний ресурс]. – Режим

доступу : www.dlr.de/tt/en/Portaldata/41/.../indicators_for_human_toxicity.pdf

9. Concept Model Supports Characterization Modelling for LCIA [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.springerlink.com/index/65J1M1WX37527273.pdf

10. Omnitox – inventory and classification of LCA characterization methods [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.omnitox.net>

11. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.imamu.edu.sa/

12. USEtox User manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.usetox.org/

13. КНД 211.1.4.054-97. Методика визначення гострої токсичності води на ракоподібних *Daphnia magna* Straus / Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001. – № 485. – 12 с.

14. Иванова И.Е. Морфолого-экологическое исследование семейства Рясковых – *Lemna minor* : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. биол. Наук : спец. 03.00.00 «Биологические науки» / И.Е. Иванова. – СПбУ Университет, 1971. – 18 с.

15. Евгеньев М.И. Тест-методы и экология / М.И. Евгеньев // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 11. – С. 29–34.

16. Методические указания. МУ 1.1.037-95 “Биотестирование продукции из полимерных и других материалов”. – М. : Госкомсанэпиднадзор России, 1996. – 11 с.

17. Acute Toxicity Test with *Daphnia magna*: An Alternative to Mammals in the Prescreening of Chemical Toxicity? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.researchgate.net/

18. Toxnet – toxicology data network [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?/temp/~0eP0h3:7>

19. Санитарно-гигиеническая ведомость [Електронний ресурс]. – Режим доступу : lscgw.monsanto.com/esh/msdslib.nsf/ID/.../Roundup-0124ru-iso.pdf

20. Material Safety Data Sheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.kerrdental.eu/media/Products/.../3504/.../OptiBond_XTR_Primer.pdf

21. Extension Toxicology Network [Електронний ресурс]. – Режим доступу : rmp.cce.cornell.edu/...methylparathion/hexazinone-ext.html

22. GLYPHOSATE [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.kingtaichem.com/pro_h_GLYPHOSATE.htm

Рецензія/Peer review : 10.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Карван С.А.

УДК 687.25:615.477.4

Е.А. ЗАХАРОВА, О.І. ХРИСТЮК, І.Г. СОЛОНЕНКО, Л.В. КОНДРАТЬЄВА

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

ЗАСТОСУВАННЯ САПР ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ЛІКУВАЛЬНО-БАНДАЖНИХ ВИРОБІВ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ

У статті наведено конструктивно-технологічні розробки лікувально-бандажних виробів, а саме поясу та спідниці. Запропоновано структурну схему виготовлення виробів даного асортименту, яка враховує різноманітність технології обробки. Обґрунтовано вибір матеріалів для виготовлення лікувально-бандажних виробів.

Авторами розроблений комплексний об'єктно-орієнтований підхід до розробки технології виготовлення лікувально-бандажних виробів для урологічних хворих у післяопераційний період з використанням програми «Компас-3D». Програма застосована для автоматизованого вирішення основних задач технологічної підготовки виробництва на швейному підприємстві при проектуванні лікувально-бандажних виробів.

Ключові слова: матеріали, лікувально-бандажні вироби, технологія виготовлення, технологічні вузли, програма «Компас-3D», система автоматизованого проектування.

E.A. ZAKHAROVA, O.I. KHRYSYTIUK, I.H. SOLONENKO, L.V. KONDRATYEVA

Vinnytsia Institute of Designing of Clothes and Entrepreneurship

APPLICATION OF CADPROJECTING OF TREATMENT-BANDAGE PRODUCTS AS A MEANS OF INCREASING COMPETITIVENESS

The article presents the structural and technological developments of treatment- bandage products such as a belt and a skirt. Suggested a structural diagram of manufacturing products of present assortment, which takes into account a variety of processing technologies. Motivated the choice of materials for the manufacture of treatment- bandage products. The authors developed a comprehensive object-oriented approach to the development technology of manufacturing treatment- bandage products for urological patients in the postoperative period using the program "Compass-3D". The program is used for automated solution of the major problems of technological preparation of production at the garment enterprises in designing of treatment-bandage products.

Keywords: materials, treatment-bandage products, technology of production, technological knots, the program "Compass-3D", computer-aided design.

Вступ

Проблема випуску якісного одягу сьогодні стоїть на першому плані. При масовому виробництві швейних виробів вирішальна роль належить технологічному процесу, який являє собою економічно-доцільну сукупність технологічних операцій з обробки та збирання деталей і вузлів швейних виробів. Випуск конкурентоспроможного одягу значною мірою пов'язаний з автоматизацією проектних робіт. Однак наявна технологія проектування одягу у вигляді автономних моделей не дозволяє домогтися відчутного прискорення їх розробки і зниження трудомісткості процесу. Питання удосконалення сучасних комп'ютерних технологій, що вони є запорукою підвищення конкурентоспроможності продукції і відповідно, підприємств галузі.

Аналіз роботи сучасних швейних підприємств показав, що якість виготовлення продукції на 50% залежить від операцій підготовки моделей до запуску, підготовки та розкрою матеріалів. Ефективність виконання проектних робіт збільшується, а їх трудомісткість знижується завдяки автоматизації процесу створення конструкторської документації. Підняття процесу проектування на новий якісний рівень, підвищення продуктивності праці більш, ніж вдвічі дозволяє впровадження сучасних систем автоматизованого проектування одягу.

Основним призначенням існуючих програм систем автоматизованого проектування (САПР) є формування технологічної послідовності виготовлення швейного виробу з використанням блоків, які містять у собі різні методи обробки деталей, вузлів та виробу в цілому. Аналіз існуючих САПР виявив, що на сучасному етапі проектування швейних виробів відсутні підходи щодо поєднання візуалізації об'єкту та його технології виготовлення. Програма «Компас-3D» призначена для автоматизованого вирішення основних задач технологічної підготовки виробництва на швейному підприємстві, а саме: розробки технологічної послідовності обробки швейних виробів; визначення схеми праці швейного потоку; розрахунку техніко-економічних показників; створенню та введенню бази даних технічної документації на вироби, що виготовляються.

Велику увагу надають проектуванню лікувально-бандажних виробів медичного призначення. Серед них виділяють бандажні засоби для органів черевної порожнини, при грижах черевної стінки, при пахових, мошоночних і стегнових грижах, вироби для лікування внутрішніх органів, в тому числі, нирок.

Поєднання візуальних образів з наступною розробкою виготовлення лікувально-бандажних виробів є актуальним і перспективним завданням інформаційних технологій. Зручність та комфорт одягу для урологічних хворих визначається його ергономічними властивостями та досягаються за рахунок використання відповідних матеріалів, конструкцій, методів технологічної обробки. Матеріали повинні володіти хорошими гігієнічними властивостями, тобто забезпечувати нормальне функціонування організму

завдяки підтриманню оптимального мікроклімату підодягового простору. Одяг для урологічних хворих повинен передбачати якомога менше швів для зниження ризику пошкодження шкіри, шви повинні бути не грубими, матеріали – м'якими, легкими, пріємними на дотик, повинні мати невелику жорсткість, не спричиняти подразнюючої дії, щоб попередити появу травм та подразнень шкіри. Необхідною умовою є відповідність одягу розміро-зросту, так як він може травмувати шкіру.

Мета роботи полягає в розробці комплексного об'єктно-орієнтованого підходу до розробки технології виготовлення лікувально-бандажних виробів для урологічних хворих у післяопераційний період. Для досягнення мети роботи вирішені задачі:

- аналіз сучасного програмного забезпечення, що застосовується в легкій промисловості;
- дослідження пакету матеріалів для виготовлення лікувально-бандажних виробів;
- розробка технологічного рішення по виготовленню комплексу лікувально-бандажних виробів з використанням «Компас-3D».

Експериментальна частина

На конкурентоспроможність продукції вітчизняних підприємств впливає ряд чинників, серед яких важливими є удосконалення процесу моделювання, проектування, конструювання та виготовлення лікувально-бандажних виробів з використанням комп'ютерної техніки. Успішність реалізації кроків по удосконаленню цих процесів можлива в разі використання результатів теоретичних та практичних наукових досліджень у даній галузі.

На кафедрі ТКШВ Вінницького інституту конструювання одягу і підприємництва розроблено лікувально-бандажні вироби, а саме пояс та спідницю для урологічних хворих. Вироби захищені патентами України: МПК, А61F5/03 (2006.01), № 77651 від 25.02.2013 р. та МПК, А61F5/03 (2006.01), № 78899 від 10.04.2013 р. Дані вироби пройшли апробацію у Вінницькому обласному клінічному онкологічному диспансері.

Використання комплексного об'єктно-орієнтованого підходу дозволяє об'єднати інформаційне, програмне і методичне забезпечення вирішення задачі формування технологічної послідовності виготовлення одягу. Вся інформація для розробки технології виготовлення поясу та спідниці для урологічних хворих подається у вигляді ескізів складальних одиниць, вузлів та текстової інформації, яка пов'язана з ескізами. Технічний малюнок формується за рахунок використання композитного методу матричного синтезу дизайнерських рішень [1]. Запропонований метод використання комплексного об'єктно-орієнтованого підходу дозволить в короткі терміни створити систему САПР технології виготовлення моделей лікувально-бандажних виробів.

Технологічний процес виготовлення лікувально-бандажних виробів можна представити у вигляді загальної схеми, яка показує послідовне виконання основних етапів процесу. Класична схема процесу обробки виробу відображає процес його виготовлення, починаючи з запуску деталей крою і закінчуючи кінцевим оздобленням і волого-тепловою обробкою (ВТО). В схемі представлені тільки основні етапи технологічного процесу. Однією з вимог до процесу виготовлення лікувально-бандажних виробів в умовах масового виробництва, є дотримання певних технологічних режимів, що регламентовані нормативною документацією. Вибір цих режимів виконують для конкретних виробів в залежності від асортименту одягу, модельно-конструктивних та технологічних рішень і властивості матеріалів, що застосовуються.

Аналіз існуючої документації на виготовлення медичного одягу показав, що він практично не відповідає сучасним вимогам сучасного виробництва. Це пояснюється тим, що по-перше, вона відображає технологію виготовлення тільки однієї конкретної моделі; по-друге, в ній не враховані сучасні досягнення в галузі швейного виробництва, тобто використання САПР.

Основою для складання технологічної послідовності обробки є вибір методів обробки виробу по окремих його вузлах. Їх вибирають на підставі вимог нормативно-технічної документації, типових методів обробки з урахуванням передової технології, обладнання та засобів малої механізації. Кожну технологічну неподільну операцію записують коротко, але так, щоб відобразити конкретну основну роботу з даної операції.

Послідовність опрацювання виробу передбачає на початку складання переліку операцій. Кожна наступна операція повинна бути логічним продовженням попередньої. Зміст операцій технологічного процесу оформляється у вигляді технологічних операційних карт, в яких вказується, що і як робити, за допомогою якого устаткування, пристосування і інструментів.

Вибір методів обробки і устаткування здійснюється на підставі стандартів, технічних умов, досвіду передових швейних підприємств, результатів науково-дослідних робіт національної та зарубіжної практики з урахуванням повного використання виробничих можливостей універсальних і спеціальних машин, засобів малої механізації [4].

Для підвищення якості швейних виробів велике значення мають методи прогнозування якісних показників сполук, які дозволяють встановити оптимальні способи з'єднань, їх параметри та необхідні обробки, а також заздалегідь визначати гарантовані терміни експлуатації одягу. Так як вироби використовуються у післяопераційний період, матеріали з яких вони виготовляються повинні бути натуральними та відповідати гігієнічним вимогам. До матеріалів лікувально-бандажних виробів висувають вимоги високої міцності з метою запобігання передчасному руйнуванню виробів та забезпечення захисту від

проникнення хвороботворної мікрофлори в під одяговий простір, при цьому має бути достатня стійкість при стиранні і пранні. Поряд з високою міцністю такі матеріали повинні бути легкими і комфортними, не повинні "порошити", щоб запобігти небажаному потраплянню частинок матеріалу (пилу) на ранові ділянки шкіри хворого, бути невеликих розмірів, комфортними та зручними при експлуатації, стійкими до агресивних середовищ, володіти високими гігієнічними властивостями.

При виготовленні бандажного поясу використовується 100% бавовняна тканина, фурнітура у вигляді текстильної застібки та еластичної тасьми, бавовняної стрічка для фіксування катетерів та лавсанової нитки. Бандажну спідницю виготовляють з 100% бавовняної тканини, в якості фурнітури нами використано липучку, з'єднувальним матеріалом є лавсанові нитки. Бавовняні тканини володіють хорошою зносостійкістю, високими показниками гігієнічних властивостей, що добре переносять багаторазові прання і теплову обробку, а також мають властивість світлостійкості. В процесі технологічної обробки та при виготовленні швейних виробів з бавовняної тканини особливих труднощів не виникає: вона добре настиляється, ріжеться, не ковзає і не зміщується. Крім того, вона не прорубується голкою, не осипається і не розсувається в швах [2, 3].

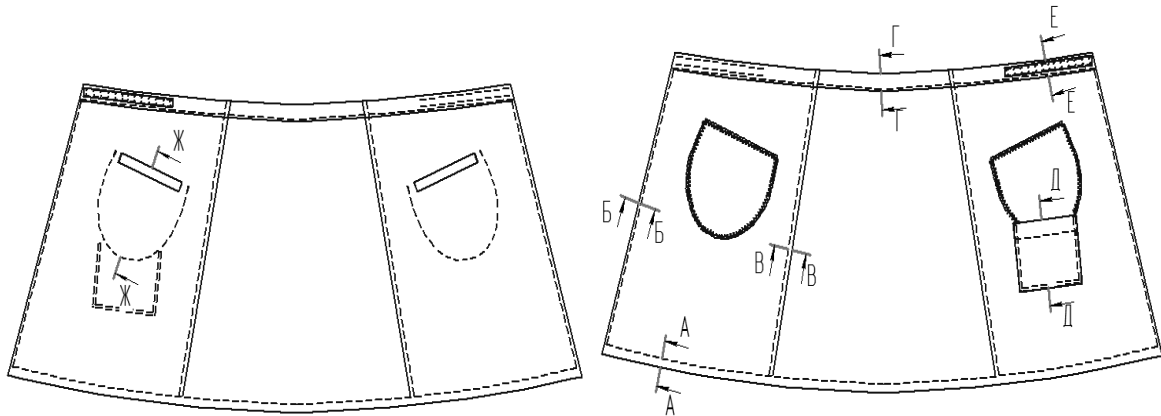


Рис.1. Графічне зображення технологічних перерізів бандажної спідниці (вигляд спереду, вигляд зду)

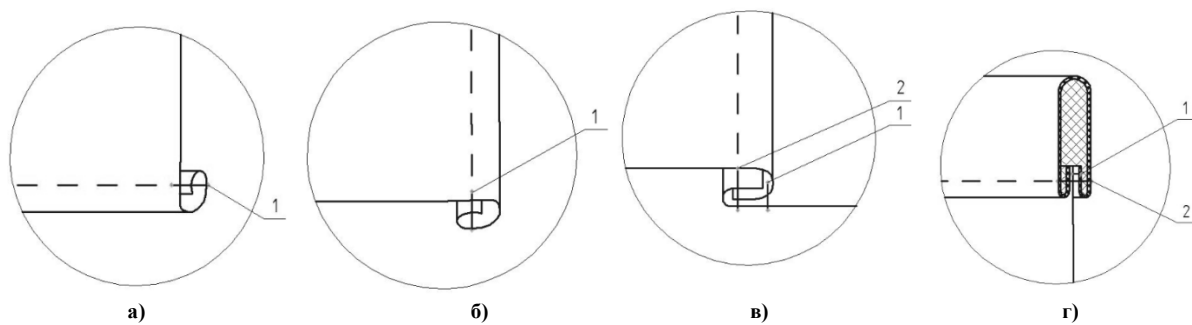


Рис. 2. Технологічна схема обробки:

а) низу спідниці (А-А); б) середнього зрізу (Б-Б); в) бічного зрізу (Б-Б); г) поясу та з'єднання його з спідницею (Г-Г)

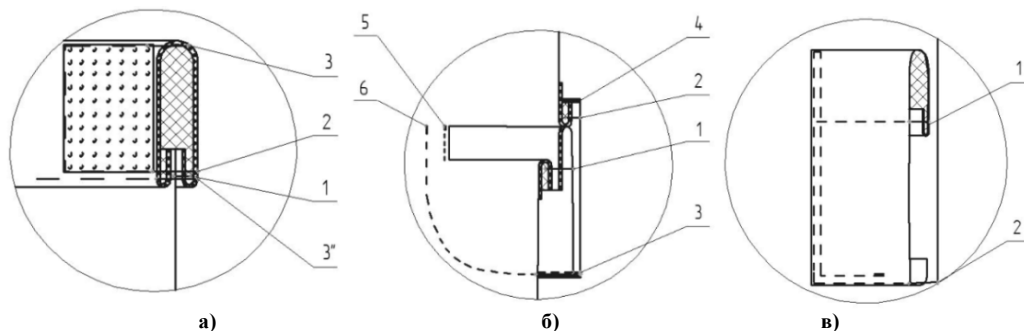


Рис. 3. Технологічна схема обробки:

а) поясу спідниці з текстильною застібкою (Е-Е); б) прорізної кишені з листочкою (Д-Д); в) накладної кишені (Ж-Ж)

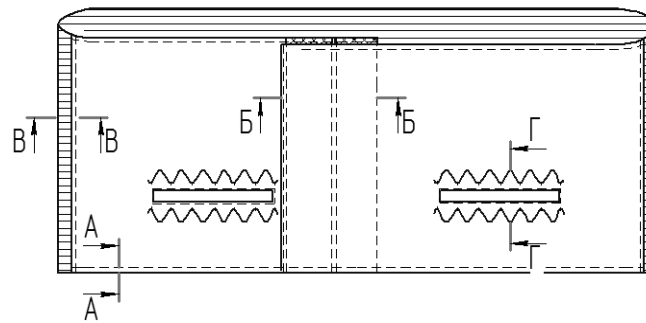


Рис. 4. Графічне зображення технологічних перерізів бандажного поясу (вид зсередини)

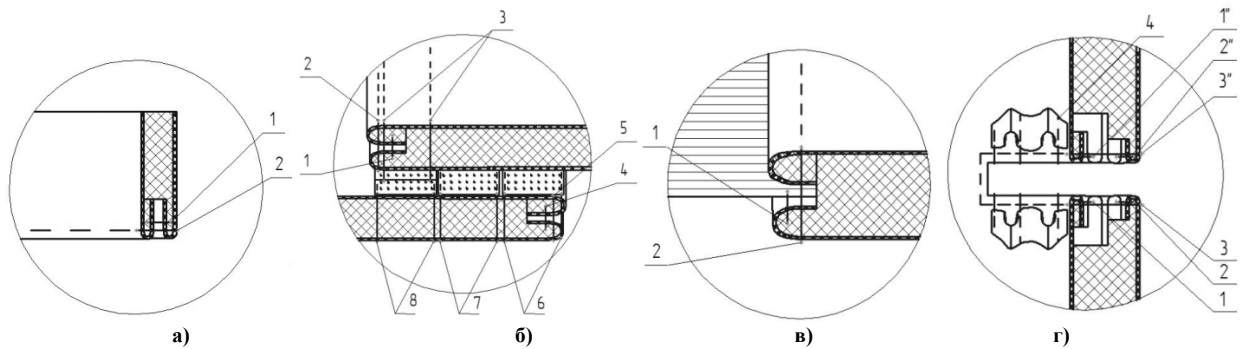


Рис. 5. Технологічна схема обробки:

а) верхнього і нижнього зрізу поясу (А-А); б) застіжки (Б-Б); в) бічних зрізів (В-В); г) фіксуючих отворів для катетерів (Г-Г)

Експерименти підтверджують, що розроблені технологічні рішення бандажного поясу та спідниці для урологічних хворих з врахуванням гігієнічних вимог дозволяють забезпечити відповідний комфорт у післяопераційний період. Підібрана тканина, що пропонується для виготовлення лікувально-бандажних виробів з 100% вмістом бавовняних волокон має високі гігієнічні властивості.

Висновки

1. Встановлено, що причинами недосконалості одягу є невідповідність сучасного інформаційного масиву стосовно технології виготовлення лікувально-бандажних виробів для урологічних хворих.
2. В роботі використані сучасні методи обробки деталей та вузлів враховуючи прогресивні технології, сучасний рівень механізації і автоматизації.
3. Визначені оптимальні матеріали для виготовлення лікувально-бандажних виробів.
4. Розроблений комплексний об'єктно-орієнтований підхід до розробки технології виготовлення лікувально-бандажних виробів для урологічних хворих у післяопераційний період з використанням програми «Компас-3D».

Література

1. Захарова Е.А. Проектні розробки одягу для урологічних хворих / Захарова Е.А., Іллінська Д.М., Рой Є.В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2. Т. 1. – С. 124–128.
2. Материаловедения швейного производства / Бузов Б.А. и др. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.
3. Технология швейного производства : учеб.пособие для сред. проф. учеб. заведений / [Э.К.Амирова, А.Т. Труханова, О.В.Сакулина, Б.С.Сакулин]. – 2-изд., стер. – М. : Изд. центр «Академия», 2006. – 480с.
4. Горобчишена В.С. Довідник технологічних послідовностей виготовлення одягу : навчальний посібник. – Львів : «Новий світ-2000», 2008. – 292 с.

Рецензія/Peer review : 19.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : к.п.н., проф. Мізрах А.А.

НАПРЯМКИ ПЕРЕОРІЄНТАЦІЇ ЗАКОНОДАВЧО-ПРАВОВОЇ БАЗИ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ ТА ОДЯГУ

Дано інтерпретацію основних положень Законів України "Про стандартизацію" [1], "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції" [2] та "Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності" [3] стосовно специфіки виробництва текстилю та одягу з нього. Щодо контролю безпеки текстилю і одягу з нього в процесі державного ринкового нагляду, то його загальні положення регламентуються Законом України "Про загальну безпеку нехарчової продукції" [4]. Значна увага приділена також імплементації європейських і міжнародних стандартів у сферу вітчизняної текстильної і легкої промисловості з метою підвищення експортного потенціалу підприємств названих галузей.

Ключові слова: законодавча база, стандартизація, державний ринковий нагляд, контроль безпеки, технічні регламенти, текстильні матеріали, одяг.

I.S. GALYK., B.D. SEMAK

Lviv Academy of Commerce

THE REORIENTATION DIRECTION OF THE TEXTILES AND CLOTHING PRODUCTION LEGISLATIVE ENVIRONMENT

The efficiency of various sectors of the national economy, the competitiveness of products at domestic and international level largely depends on the availability and the level of statutory and normative-technical base. The paper presents the interpretation of the Laws of Ukraine "On Standardization", "On the General Safety of Non-food Products", "On State Market Surveillance and Control of Non-food Products", "On Technical Regulations and Procedures of Conformity Assessment" in relation to specific needs of textile and light industry of Ukraine. The necessity of developing a new technical regulation for textiles and clothing, the domestic appropriateness of the professional interpretation of certain terms contained in these laws.

Keywords: legislative base, governmental market supervision, standardization, security control, technical regulations, textiles, clothing.

Постановка завдання

Суттєві зміни в структурі асортименту та обсягах виробництва різних за призначенням та способами виробництва текстильних матеріалів і виробів, постійне наповнення вітчизняного ринку аналогічною більш конкурентною імпортною продукцією, необхідність виходу із затяжної економічної кризи вітчизняної текстильної і легкої промисловості обумовили нагальну потребу суттєвої переорієнтації та подальшого вдосконалення не тільки законодавчо-правової, але й нормативно-технічної бази названих галузей промисловості.

Про доцільність і безвідкладність вирішення піднятих питань свідчать не тільки суттєві зміни державної політики щодо технічного регулювання у сфері виробництва текстилю та одягу, але й значна кількість інформації в періодичних, монографічних і навчальних виданнях, яка присвячена вирішенню цих питань.

Прокоментуємо деякі із цих робіт. Так, автором роботи [5] проведено аналіз сучасного стану вітчизняної системи стандартизації та сертифікації із врахуванням змін, які відбуваються в нашій економіці у зв'язку із вступом у дію економічної частини Угоди про асоціацію України та ЄС. Він обґрунтовує необхідність гармонізації відповідної нормативно-правової бази України із нормами Європейського Союзу з метою максимального наближення законодавства України у сфері технічного регулювання до норм ЄС. Акцентується увага на взаємне визнання Україною та ЄС сертифікатів відповідності на промислову продукцію.

Автором роботи [6] обґрунтована доцільність подальшого вдосконалення державного управління стосовно системи технічного регулювання, дається аналіз нової нормативно-правової бази щодо системи ринкового нагляду. Підкреслюється, що зусилля фахівців слід зосередити на реформуванні вітчизняної системи технічного регулювання, подальшого вдосконалення вітчизняної системи стандартизації шляхом її гармонізації із європейською та міжнародною системами стандартизації. Це сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної продукції та її успішному виходу на зарубіжні ринки.

Як бачимо, наведена інформація носить загальний характер і потребує конкретизації стосовно пошуку шляхів вдосконалення системи технічного регулювання саме в текстильній і легкій промисловості України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Судячи з аналізу літературних джерел [7–10], інформація щодо вдосконалення нормативно-правової бази виробництва текстилю і одягу носить ще обмежений і епізодичний характер і підтверджує необхідність проведення більш глибоких комплексних товарознавчих і матеріалознавчих досліджень даної проблеми. Обмежимося розглядом деяких аспектів цієї проблеми, опублікованих в останні роки в окремих періодичних виданнях. Так, наприклад, авторами роботи [7] розглянуто стан системи технічного регулювання при виробництві одягу спеціального призначення в Україні. Виявлено напрямки вдосконалення системи технічного регулювання при виробництві цього одягу. При цьому підкреслюється

необхідність вдосконалення системи державного ринкового нагляду та усунення розбіжностей при контролі безпечності даного товару у зарубіжній практиці та в Україні.

Авторами роботи [8] розглянуто проблеми становлення та розвитку системи екологічної сертифікації на прикладі продукції вітчизняної текстильної і легкої промисловості. Вивчено особливості сертифікації продукції текстильної і легкої промисловості в Україні та у зарубіжній практиці. Підкреслюється, що розробка і впровадження в практику вітчизняного виробництва методологічних засад екологічної сертифікації нашої продукції сприятиме її успішному виходу на зарубіжні ринки.

Авторами роботи [9] розкрито роль і місце міжнародного технічного регулювання у вітчизняному товарознавстві взуттєвих товарів. Підкреслюється, що система технічного регулювання у сфері вітчизняної легкої промисловості повинна бути націлена передусім на дотримання обов'язкових вимог до товарів, які перш за все стосуються захисту здоров'я та життя людини та охорони довкілля. Наголошується, що технічне регулювання вітчизняної продукції легкої промисловості тісно пов'язане із конкурентоспроможністю продукції і можливостями її виходу на зарубіжні ринки. Особливої актуальності набувають ці питання після вступу України до СОТ та імплементації у вітчизняне виробництво вимог європейських і міжнародних стандартів.

В роботі [10] розглянуто роль і місце безпечності взуття для дітей у системі технічного регулювання. Обґрунтована класифікація видів безпечності взуття та дана їх коротка характеристика. Автором виділені такі види безпечності взуття для дітей: хімічна, біологічна, екологічна, механічна, санітарно-гігієнічна. Із врахуванням названих видів безпечності автором сформульовані та обґрунтовані специфічні вимоги до якості дитячого взуття. Рекомендується використати дану інформацію для розроблення технічних регламентів для взуття.

Мета роботи – інтерпретація основних положень законів України "Про стандартизацію", "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції", "Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності" стосовно специфіки вітчизняного виробництва текстилю і одягу.

Викладення основного матеріалу та його авторська трактовка

Необхідність реалізації Угоди України із СОТ, Угоди про асоціацію України з ЄС, Угоди про зону вільної торгівлі між Україною та ЄС та іншими, як відомо, вимагає невідкладної переорієнтації нормативно-технічної бази передусім у сфері вітчизняного промислового виробництва. Тому не випадково в останні роки у сфері вітчизняного промислового виробництва впроваджено цілий ряд нових нормативно-правових актів, націлених не тільки на реалізацію названих угод, але й корінну перебудову всієї системи технічного регулювання в нашій країні.

В даній роботі ми прослідкуємо тільки за реалізацією деяких законів України, націлених на вдосконалення системи технічного регулювання у сферах вітчизняної текстильної і легкої промисловості. Вибір цих галузей як об'єкту досліджень мотивується декількома причинами, а саме:

- названі галузі нині знаходяться у затьожній економічній кризі;
- саме ці галузі потребують безвідкладного відновлення свого експортного потенціалу;
- саме ці галузі вимагають суттєвої державної підтримки в оновленні і забезпеченні необхідною сировиною, сучасним технологічним обладнанням та відповідними фінансовими ресурсами.

Візьмемо для прикладу три взаємозв'язані Закони України: "Про стандартизацію" [1], "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції" [2] і "Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності" [3]. Необхідність реалізації цих законів у сферах текстильної і легкої промисловості, як і в інших галузях вітчизняного виробництва, обумовлена низкою причин, а саме:

- потребою заміни стандартів колишнього СРСР згідно з наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України №1993 від 30 грудня 2014р., затверджених до 1992 року;
- практичною непридатністю поки існуючих в нашій країні стандартів СНД забезпечити випуск конкурентоспроможної продукції у галузях текстильної і легкої промисловості України;
- потребою імплементації у сферу текстильної і легкої промисловості України вимог сучасних європейських і міжнародних стандартів і відповідно переорієнтації існуючих в цих галузях вимог стандартів СНД на вимоги міжнародних і європейських стандартів.

Враховуючи нинішню ситуацію у сферах виробництва та реалізації продукції вітчизняної текстильної і легкої промисловості, першочергову увагу, на нашу думку, слід звернути на наступні положення названих законів:

1. Візьмемо спочатку Закон України "Про стандартизацію". Його реалізація у сфері вітчизняної текстильної і легкої промисловості повинна бути націлена на вирішення наступних завдань:

- забезпечення випуску продукції, яка відповідає своєму призначенню;
- гарантування різноманітності асортименту продукції, її сумісності, взаємозамінності в процесі застосування;
- забезпечення раціональних способів виробництва продукції із необхідних видів сировини, сучасних технологій, вибору виправданих сфер застосування;
- забезпечення охорони життя та здоров'я людини, а також гарантування її прав і інтересів в процесі виробництва та експлуатації продукції;
- забезпечення необхідних умов праці у сфері виробництва продукції;
- мінімізація негативного впливу технології виробництва продукції на забруднення оточуючого природного середовища;

- усунення технічних бар'єрів у сфері торгівлі товарами текстильної і легкої промисловості та запобігання причин їх виникнення;
- сприяння підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної продукції на вітчизняному та зарубіжних ринках.

Слід підкреслити, що у новій редакції Закону України "Про стандартизацію" [1] наголошується про пріоритетність прийняття в Україні міжнародних стандартів і кодексів, а також інформації про них для користувачів продукції текстильної і легкої промисловості; дотримання міжнародних правил і процедур стандартизації у названих галузях промисловості; участь у роботі міжнародних органів зі стандартизації щодо проблем названих галузей.

Таким чином, Закон України "Про стандартизацію" по суті закладає основи нового напрямку розвитку вітчизняної системи стандартизації, максимально наближеної до європейської та міжнародної системи стандартизації продукції текстильної та легкої промисловості.

І це цілком зрозуміло, оскільки гармонізація вимог вітчизняних стандартів із вимогами європейських і міжнародних стандартів у сфері текстильної і легкої промисловості дозволить вирішити низку важливих завдань, а саме:

- суттєво підвищити експортний потенціал вітчизняних підприємств за рахунок збільшення обсягів виробництва та розширення асортименту продукції експортного призначення;
- значно підвищити рівень якості, безпечності та конкурентоспроможності продукції текстильної і легкої промисловості;
- розширити ринки збуту продукції вітчизняної текстильної і легкої промисловості;
- сприяти більш швидкій переорієнтації продукції названих галузей із ринків СНД на європейський і міжнародні ринки;
- сприяти пріоритетній імplementації вимог європейських і міжнародних стандартів у практику роботи підприємств текстильної і легкої промисловості України;
- сприяти своєчасній заміні застарілих стандартів колишнього СРСР у названих галузях відповідними видами європейських і міжнародних стандартів;
- провести інвентаризацію всієї нормативно-технічної документації у сферах текстильної та легкої промисловості з метою вилучення із обігу тих документів, які вже застаріли і не відповідають сучасним вимогам розвитку цих галузей;
- обґрунтувати напрямки переорієнтації розвитку вітчизняної системи стандартизації у названих галузях у світлі вимог Закону України "Про стандартизацію".

І, нарешті, згідно з вимогами названого закону представляється доцільним, на нашу думку, дати фахове тлумачення деяких із наведених в цьому законі термінів стосовно потреб текстильної і легкої промисловості. Це стосується передусім таких термінів: європейський стандарт, консенсус, міжнародний стандарт, міжнародна організація стандартизації, національний стандарт, регіональний стандарт.

2. Реалізація Закону України "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції у сфері вітчизняної текстильної і легкої промисловості" вимагає першочергового вирішення таких завдань:

- використання обмежувальних чи корегувальних заходів щодо продукції, яка при її використанні за призначенням становить загрозу суспільним інтересам і не відповідає встановленим вимогам;
- забезпечення відповідності при контролі продукції, що ввозиться на митну територію України, встановленим нормативними документами вимогам з метою виключення з обігу тієї продукції, яка становить серйозний ризик суспільним інтересам.

Основні принципи ринкового нагляду і контролю продукції текстильної і легкої промисловості включають:

- об'єктивність, неупередженість та компетентність органів ринкового нагляду;
- прозорість здійснення ринкового нагляду і контролю безпечності продукції названих галузей промисловості;
- рівність заходів ринкового нагляду і контролю продукції незалежно від країни походження продукції;
- забезпечення захисту конфіденційної інформації, одержаної під час здійснення ринкового нагляду і контролю продукції.

Слід підкреслити, що законодавство України про державний ринковий нагляд і контроль продукції складається із цього Закону, Закону України "Про загальну безпечність нехарчової продукції" [4] та інших нормативно-правових актів, що регулюють відносини в цій сфері, включаючи і відповідні види технічних регламентів. Тому при контролі безпечності продукції текстильної і легкої промисловості при її ринковому нагляді слід керуватись саме вимогами Закону України "Про загальну безпечність нехарчової продукції".

Однак, при цьому слід мати на увазі, що в даному законі регламентовані тільки загальні вимоги до безпечності продукції вітчизняної текстильної і легкої промисловості. Однак, ця безпечність може бути різноманітною (хімічною, біологічною, термічною, радіоактивною, механічною, екологічною). Судячи з аналізу літературних джерел [10,11], в практиці зарубіжного і вітчизняного виробництва текстилю і одягу для оцінювання безпечності цих товарів для здоров'я і життя людини та для забруднення довкілля найчастіше використовуються лише критерії та методи екологічної безпечності, які регламентовані міжнародним екологічним стандартом Екотекс-100 і гармонізованим з ним ДСТУ 4239:2003. Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги.

Слід підкреслити, що порядок здійснення державного ринкового нагляду продукції текстильної і

легкої промисловості в Україні дещо відрізняються від процедури ринкового нагляду за цією продукцією в європейських країнах. Так, якщо в нашій країні ринковий нагляд названої продукції в основному здійснюється органами Держспоживінспекції при її митному контролі, то у європейських країнах в процесі ринкового нагляду продукції майже 95% митного контролю цієї продукції здійснюється у сфері торгівлі. Правда в Україні, як і у європейських країнах, ринковий нагляд текстилю і одягу може здійснюватись також і в процесі проведення ярмарок, виставок, демонстрації моделей цих товарів. При цьому у всіх випадках при виявленні органами Держспоживінспекції чи іншими державними органами невідповідності даної продукції встановленим вимогам при її ринковому огляді, ця продукція може бути знята із продажу чи з виробництва, або її обіг може бути обмеженим.

Завершимо аналіз цього закону переліком деяких термінів у Законі України "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції", які потребують фахового тлумачення щодо виробництва текстилю і одягу. Це стосується таких термінів:

- державний контроль продукції;
- національний знак відповідності;
- орган державного ринкового нагляду;
- декларація про відповідність;
- сертифікат відповідності.

3. Закон України "Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності" стосовно виробництва вітчизняного текстилю та одягу націлений на вирішення наступних завдань: захист життя та здоров'я людей, тварин і рослин; охорону довкілля, природних ресурсів і майна; забезпечення національної безпеки та енергоефективності.

Технічні регламенти розробляються, приймаються та застосовуються на основі принципів, установлених СОТ про технічні бар'єри в торгівлі. Технічні регламенти розробляються на основі міжнародних, регіональних і національних стандартів України чи інших держав, актів законодавства Європейського Союзу чи інших економічних об'єднань. Технічні регламенти затверджуються законами, актами Кабінету Міністрів України та центральних органів виконавчої влади.

У змісті технічних регламентів міститься така інформація:

- визначення видів продукції, процесів чи методів, на які поширюється дія технічного регламенту;
- технічні вимоги, яким повинна відповідати продукція, що вводиться в обіг, надається на ринку або вводиться в експлуатацію;
- права та обов'язки суб'єктів господарювання, які стосуються введення продукції в обіг;
- процедури оцінки відповідності технічним вимогам, визначеним у технічних регламентах чи інших нормативно-правових актів;
- правила та умови нанесення знака відповідності технічним регламентам.

Особливу увагу слід приділити оцінці відповідності продукції текстильної і легкої промисловості, як і інших галузей, вимогам технічних регламентів, які застосовуються до такої продукції. При цьому для оцінки відповідності названої продукції можуть використовуватись національні стандарти, перелік яких затверджується центральним органом влади.

Як і при реалізації Законів України "Про стандартизацію", "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції", реалізація Закону України "Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності" також вимагає фахового тлумачення деяких термінів, які безпосередньо стосуються виробництва текстилю і одягу в Україні, а саме:

- гармонізований європейський стандарт;
- декларування відповідності;
- знак відповідності технічним регламентам;
- оцінка відповідності;
- підтвердження відповідності;
- презумпція відповідності;
- процедура оцінки відповідності;
- система оцінки відповідності;
- технічна специфікація;
- технічний регламент.

А тепер коротко зупинимось на змісті, формі і сфері застосування "Технічного регламенту щодо назв текстильних волокон і маркування текстильних виробів" [12].

Цей Технічний регламент встановлює основні вимоги до назв текстильних волокон і маркування текстильних виробів. Його розроблено з врахуванням вимог Директиви Європейського Парламенту і ради ЄС 96/74/ЄС від 16 грудня 1996 р. "Про назви і правила маркування текстильних матеріалів". Дія цього Технічного регламенту поширюється на всі види текстильних волокон і інформацію, яка наноситься під час маркування текстильних виробів.

Оцінка інформації, яка міститься у Законі України "Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності" (прийнятому у 2015 р.) і "Технічному регламенті щодо назв текстильних волокон і маркування текстильних виробів" (прийнятому у 2009 р.) свідчить про необхідність суттєвого доповнення і підготовки нової редакції названого Технічного регламенту. Таку необхідність, на нашу думку, слід пояснити низкою причин, а саме:

- технічний регламент щодо назв текстильних волокон і маркування текстильних виробів охоплює дуже вузькі проблеми у галузі вітчизняного текстильного виробництва і практично не враховує тих значних змін, які відбулися у сировинному балансі, технологіях виробництва, асортименті, якості та безпечності різних видів текстильних матеріалів і виробів за останні роки;
- в даному Технічному регламенті навіть не згадуються ті нові види текстильних матеріалів і виробів з них, які з'явилися на сучасних ринках в останні роки (інтер'єрний текстиль, медтекстиль, екотекстиль, нанотекстиль, геотекстиль та багато інших);
- цей технічний регламент вже суттєво відстає від потреб сучасних законів "Про стандартизацію", "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції", "Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності". Він ще не в повній мірі враховує вимоги Європейських і міжнародних стандартів, вимоги яких імплементуються у сферу вітчизняної текстильної і легкої промисловості. Виходячи з цього, слід рекомендувати Міністерству економічного розвитку і торгівлі України, окрім підготовки нової редакції існуючого єдиного "Технічного регламенту щодо назв текстильних волокон і маркування текстильних виробів" розробити і затвердити ще новий міжгалузевий Технічний регламент, який би охоплював всі види продукції окремих підгалузей текстильної промисловості і виробів із них, включаючи різноманітність їх асортименту та його кодування і маркування.

Загальні висновки

1. Здійснена інтерпретація основних положень Законів України "Про стандартизацію", "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції", "Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності" стосовно специфіки роботи текстильної і легкої промисловості України. Обґрунтована доцільність фахового тлумачення деяких термінів, наведених у названих законах.
2. Основна увага приділена інтерпретації тих положень названих законів, які пов'язані із наближенням вітчизняної системи стандартизації державного ринкового нагляду та контролю безпечності текстильних матеріалів і одягу в Україні та у країнах Європейського Союзу.
3. Представляється доцільним рекомендувати Мінпромполітики і торгівлі України підготувати нову редакцію "Технічного регламенту щодо назв текстильних волокон і маркування текстильних виробів", оскільки даний технічний регламент вимагає суттєвого вдосконалення, а також розробити новий міжгалузевий Технічний регламент щодо текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення, способів виробництва і волокнистого складу, гармонізований із вимогами європейських і міжнародних стандартів.

Література

1. Про стандартизацію : закон України // Відомості Верховної Ради України. – 2014. – № 31. – Ст. 1058.
2. Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції : закон України // Відомості Верховної Ради України. – 2014. – № 20-21. – Ст. 712.
3. Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності : закон України // Відомості Верховної Ради України. – 2015. – № 14. – Ст. 96.
4. Про загальну безпечність нехарчової продукції : закон України // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 22. – Ст. 712.
5. Гарасим Ю.Й. Аналіз національної системи стандартизації і сертифікації у контексті угоди про асоціацію України та ЄС / Ю.Й. Гарасим // Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. – 2015. – № 3(80). – С. 58–63.
6. Криштоф Н. Реформи державного управління в системі технічного регулювання – запорука забезпечення виходу української продукції на зовнішні ринки / Н. Криштоф // Вісник Національної академії державного управління. – 2013. – № 1. – С. 113–122.
7. Артюх Т. Стан системи технічного регулювання одягу спеціального призначення в Україні / Т.М. Артюх, Л.І. Савицька // Вісник КНУТД. – 2015. – № 3(86). – С. 173–178.
8. Слізков А.М. Проблеми екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості і шляхи їх вирішення / А.М. Слізков, Н.І. Упірова // Вісник КНУТД. – 2015. – № 2(84). – С. 221–226.
9. Беднарчук М.С. Роль і місце міжнародного технічного регулювання у вітчизняному товарознавстві / М.С. Беднарчук, Н.І. Попович // Вісник КНУТД. – 2013. – № 4. – С. 91–94.
10. Катрич В. Безпечність взуття для дітей / В. Катрич // Товари і ринки. – 2012. – № 2. – С. 211–216.
11. 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.
12. Про затвердження Технічного регламенту щодо назв текстильних волокон і маркування текстильних виробів : постанова Кабінету Міністрів України від 14 січня 2009 року № 13.

Рецензія/Peer review : 2.2.2016 р. Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., професор Доманцевич Н.І.

УДК 677.075.001.76

Т.А. ПУДАЙЛО, І.М. БІЛОУС, В.С. ГОРОБЧИШИНА, О.В. МОРОЗ
Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва**ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ В ТРИКОТАЖНИХ ВИРОБАХ**

В даній статті представлено ретроспективний аналіз розвитку трикотажної промисловості від в'язання вручну до сучасного обладнання. Досліджено асортимент верхньотрикотажних виробів та застосування нанотехнологій для їх отримання, а саме: надання антимікробних властивостей при нанесенні на трикотаж срібного покриття, використання з'єднання титану для надання декоративності трикотажним полотнам, додавання європія для зміни кольору фотохромних матеріалів при ультрафіолетовому світлі. Надана характеристика та вказані основні властивості сучасних утеплювальних матеріалів (мінсулейт, холофайбер) для виготовлення верхньотрикотажних виробів. Використовуючи результати експериментальних та теоретичних досліджень, визначені основні вимоги до утеплювальних матеріалів для одягу. Досліджені фізико-механічні та гігієнічні властивості трикотажного полотна з круглов'язальної машини для виготовлення курток, визначені основні властивості трикотажного полотна та сучасних утеплювальних матеріалів.

Ключові слова: трикотажні вироби, нанотехнології, текстильні матеріали, холофайбер, мінсулейт.

T.A. PUDAILO, E.M. BILOUS, V.S. GOROBCHISHINA, O.V. MOROZ
Vinnytsia Institute of Clothes Designing and Entrepreneurship**NANOTECHNOLOGY IN KNITTING INDUSTRY**

The article below presents retrospective analysis of knitting industry development starting from hand knitting and ending with usage of modern industrial knitting machinery. The topics of the research are: knitted outer garments and usage of nanotechnology for their production, namely appliance of silver on the surface in order to increase its antibacterial attribute of knitted garments; usage of titanium mixture for decorative purposes; usage of europium for UV colour changing of photochromic materials. The article presents characteristic and main features of modern heat insulation materials such as thininsulation and hollowfiber for production of knitted outer garments. Main requirements for heat insulation materials and outfits were established by applying various theories and practical research. The research was conducted on main physio mathematical and hygienic characteristics of knitted outer garments produced by circular knitted machines.

Key words: knitted garments, nanotechnology, textile materials, thininsulation, hollowfiber.

Вступ

Історія текстилю нараховує багато тисяч років. Ще 50 тисяч років тому люди набули навиків зв'язувати, а точніше, сплітати природні матеріали. Згодом плетіння перейшло в ткацтво та в'язання. Під час розкопок в Єгипті знайшли дитячу в'язану туфельку, вік якої перевищує 4 тисячі років. Перша в'язальна машина була створена в Англії в 1589 році. Це був плаский ручний верстат для в'язання. Його творцем став Вільям Лі, який отримав патент на свій винахід. З винайденням язичкової голки для в'язальної машини трикотажна промисловість отримала новий поштовх. В 19 столітті розпочалась епоха розвитку техніки в'язання. Трикотажні полотна використовують при виробництві практично усіх видів виробів. Таке широке їх застосування обумовлено: м'якістю, гарним драпіруванням, теплозахисними і гігієнічними властивостями. Перевагами трикотажу є висока розтяжність і пружність. Вироби з трикотажу не обмежують рухів людини, швидко відновлюють форму після розтягування, мають здатність покривати тіло людини без зморшок і складок. Використовують пряжу різної структури, за винятком пряжі високої крутки (муслінової чи крепової) [1].

Розвиток і удосконалення текстильних матеріалів, їх розширення та оновлення відповідно до зміни одягу, кон'юктури ринку потребують постійного дослідження та вивчення. За видом застосування матеріалів виготовляють одяг із тканин, трикотажу, нетканих матеріалів, натуральної і штучної шкіри і хутра, комплексних, плівкових матеріалів. За способом виготовлення одяг буває кроєний, в'язаний і комбінований. В'язані полотна для верхнього одягу повинні мати оптимальні фізико-механічні властивості для задоволення гігієнічних умов, високу стійкість до витирання, багаторазового деформування, забезпечувати зберігання лінійних розмірів і форм виробів в умовах експлуатації. Для виготовлення верхніх виробів широко застосовуються трикотажні полотна класичних структур з різних видів текстильних ниток. Новим напрямком у розширенні асортименту високоякісних трикотажних виробів є створення формостійких полотен, освоєння переробки текстурованих поліефірних ниток, використання нанотехнологій, застосування нових утеплювальних матеріалів для верхньотрикотажних виробів [2]. Матеріал для верхнього одягу повинен мати оптимальні фізичні властивості для задоволення гігієнічних умов, високу стійкість до витирання, багаторазового деформування, забезпечувати зберігання лінійних розмірів і форму виробу в умовах експлуатації.

Метою роботи є впровадження нанотехнологій при виготовленні трикотажного полотна для курток.

Об'єктом дослідження є зразки трикотажного полотна з круглов'язальних машин для виготовлення курток з сучасними утеплювальними матеріалами.

Експериментальна частина

Трикотаж — це текстильний матеріал, який складається з петель, поєднаних між собою [1]. Трикотаж в'яжеться вручну (шпицями, гачком) та на в'язальних машинах трикотажними голками.

Асортимент трикотажних виробів дуже різноманітний. Побутові трикотажні полотна та вироби класифікують за такими ознаками: за призначенням, способом виготовлення, волокнистим складом, структурою переплетення, видом оздоблення. За призначенням трикотажні полотна поділяються на полотна для верхнього трикотажу та білизняні. Трикотажні вироби за призначенням поділяють на 5 класів: білизняні, верхні, панчішно-шкарпеткові, рукавичні, головні убори та хустково шарфові. Основні вимоги, яким повинні відповідати трикотажні полотна для верхнього одягу: пружність і формостійкість, легкість, комфортність, стійкість до зношування, теплозахисні властивості, незначне зсідання, міцне забарвлення, сучасне оформлення. Для виготовлення верхніх трикотажних виробів використовують вовняну, бавовняну, лляну і змішану пряжу, об'ємну поліакрилонітрильну пряжу, високооб'ємні текстуровані нитки.

Верхні трикотажні вироби відрізняються формою, кольором, фасоном, складністю обробки, додатковим оздобленням, силуетом, характером застіжки, вирізом горловини, висотою коміра, довжиною рукавів та ін. Для трикотажних виробів притаманна детальна розробка силуету за допомогою різноманітного крою, швів, складок, кишень, застібок, оздоблювальних елементів. Під час моделювання, конструювання, крою й пошиття беруть до уваги основні властивості трикотажних полотен – розтяжність, розпускальність, закручування країв тощо. З'єднують деталі крою виробів з трикотажних полотен міцними еластичними швами ланцюжкового стібка, які повинні запобігати розпусканню крайніх петель та бути еластичними.

Розрізняють наступні види верхніх трикотажних виробів:

1. Джемпер (пуловер) — плечовий нерозпашний верхній одяг без застіжки згори донизу, з рукавами різної довжини, з різноманітним оформленням горловини, з висотою коміра не більше 5 см.

2. Жакет — плечовий розпашний верхній одяг з розрізом згори донизу, з застіркою або без неї, з довгими або короткими рукавами, без коміра або з коміром.

3. Жилет — плечовий розпашний чи нерозпашний трикотажний виріб без рукавів.

4. Светр — виріб побутового і спортивного призначення, який складається із стану, рукавів і коміра-стійки висотою не менше 5 см. Комір буває суцільнов'язаним або пришивним, одинарним або подвійним. Виготовляють светри переважно із товстих трикотажних полотен.

5. Куртка — плечовий верхній одяг із рукавами, розрізом і застіркою згори донизу, з підкладкою і утеплювальною прокладкою або без них. Нерідко виготовляють із каптуром.

6. Рейтузи — вироби побутового і спортивного призначення, це поясний одяг, який щільно облягає нижню частину тулуба й ноги до ступнів, виготовляють суцільнов'язаними та кроєними.

7. Штани — виготовляють різних фасонів. Можуть бути дво- або чотиришовними, з кишнями або без них. Низ штанів закінчується манжетами або упідгін. Застібка по центру, збоку; бувають чоловічі, жіночі та дитячі. Різновиди штанів — шорти (довжиною вище колін), бермуди (до колін).

8. Спідниці — поясний верхній жіночий або дівочий одяг, яким вкривають нижню частину тулуба й ноги, бувають костюмні й одиночні. Використовують у комплектах з джемперами, жакетами, жилетами і блузками. За конструкціями і фасонами не відрізняються від спідниць із тканин. Спідниці із трикотажних полотен виготовляють з підкладкою, з формостійких полотен — без підкладки.

9. Блузки — плечовий жіночий або дівочий одяг, який надягають на білизняний виріб. Виготовляють із гладков'язаних або ажурних трикотажних полотен, для носіння заправленими в спідницю або навипуск. Відрізняються фасонами, залежно від форми і довжини рукавів, форми коміра, застіжки й виду оздоблення.

10. Сукні — плечовий жіночий або дівчачий одяг, яким вкривають тулуб, стегна і ноги. Сукні шують різноманітних фасонів і силуетів залежно від напрямку моди, суцільнокроєними або відрізними по лінії талії, з різною формою і конструкцією рукавів і комірів.

11. Костюми — одяг, що складається з двох або більше виробів. Бувають чоловічі, жіночі, дитячі і спортивні, дво-, три- і багатопредметні. Костюм-двійка може складатися із жакета (джемпера, жилета, блузки) і спідниці або штанів; або сукні і жилета; сарафана з блузкою або джемпером. Костюм-трийка доповнюється жилетом, блузкою або іншими виробами, а багатопредметні ансамблі (комплекти) — шапочкою, шарфом, рукавичним виробом або хусткою. Костюми спортивного типу складаються з куртки, светра або джемпера і штанів, які мають різний крій, фасон, оздоблення та волокнистий склад. Виготовляють із вовняної, напіввовняної пряжі, високооб'ємних ниток. Для оздоблення по бокам штанів, куртки, комірів і манжет використовують декоративні смуги, різнокольорові канти, а на грудях — емблеми, шеврони.

12. Пальта — плечовий верхній одяг з рукавами, розрізом та застіркою згори донизу. Демісезонні пальта виготовляють із трикотажних полотен, дубльованих поролоном або штучним хутром на трикотажній основі, шують таких самих моделей і фасонів, що й пальта із тканини. Головна функція цих виробів – забезпечення максимального комфорту в користуванні, відповідність формі і розмірам тіла.

Для дослідження було вибрано трикотажне полотно з круглов'язальної машини з однорідної сировини (текстурованих поліефірних ниток) лінійною густиною 11×2текс, поверхневою густиною полотна 310 г/м². Структура трикотажного полотна – двофонтурне комбіноване переплетення. Спосіб виготовлення виробу – кроєний. Дослідження проводились в лабораторії. Товщина вимірювалась товщиноміром ТЕМ,

розривне навантаження та розтяжність на розривній машині РМ-30, стійкість до витирання на приладі ІТ-1М [3]. Полотно в результаті досліджень отримало такі фізико-механічні та гігієнічні показники, які подані в табл.1.

Таблиця 1

Фізико-механічні та гігієнічні показники трикотажного полотна для виготовлення куртки

Найменування показників трикотажного полотна	Значення
Розривне навантаження, Н	152
Зміна лінійних розмірів після мокрих обробок, %	4
Зміна лінійних розмірів після хімочищення, %	2
Стійкість до витирання	звичайна
Розтяжність при навантаженні 6Н, %	група I
Товщина, мм	2,1
Повітропроникність	$124 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \times \text{с})$
Паропроникність	$58 \text{ г} / (\text{м}^2 \times \text{с})$
Вологість (при кондиційній вологості повітря 65%)	8%
Гігроскопічність	3%

До традиційних утеплювальних матеріалів, що застосовуються у виробництві одягу, належать натуральне і штучне хутро, пух, вата, ватин, вателін, синтетичне об'ємне полотно, поролон [4]. До сучасних утеплювачів відносяться тінсулейт (рис.1) і холофайбер (рис. 2). Американська компанія розробила унікальну технологію виробництва мікрОВОЛОКОННИХ утеплювачів «тепло без зайвого обсягу», який назвали тінсулейт (від англ. thin – тонкий, insulation – утеплення). Нова унікальна технологія виробництва мікрОВОЛОКОН дозволила спеціалістам американської компанії скопіювати структуру волокон пуху і отримати у підсумку матеріал, який за ефективністю та якістю перевершив всі відомі на світовому ринку утеплювальні матеріали. Тінсулейт забезпечує високий теплозахист і комфорт більше ніж будь-який інший наповнювач. Він утримує молекули повітря між тілом людини і оточуючим середовищем. Чим більше молекул повітря утримує матеріал в одному кубічному сантиметрі, тим кращі його теплоізоляційні властивості. В тінсулейті цей показник на порядок більший в порівнянні з іншими матеріалами. МікрОВОЛОКНА утеплювача тінсулейт значно тонші за інші волокна синтетичних утеплювачів, в результаті вони утримують більше повітря в меншому обсязі, він в 1,5 рази тепліше натурального пуху, підтримує необхідний баланс вологості, стійкий до вологи, не зсідается, має європейський екологічний сертифікат Oeko-Tex Standart 100. До його недоліків відноситься низька теплостійкість. 40°C є максимальною температурою, вище якої починається погіршення властивостей тінсулейту, також не допускається прасування під паром. Мікрофотографія волокон утеплювачів (збільшено в 500 разів).

Термографічна зйомка, зроблена інфрачервоною камерою, показує різницю теплозберігаючих властивостей утеплювача тінсулейт порівняно з іншими утеплювачами. Ці результати отримані під час лабораторних досліджень куртки, в одній половині якої знаходився синтетичний утеплювач, а в іншій – тінсулейт. Обидва пакети мали однакову товщину.

Широко застосовується як теплонаповнювач в одязі нетканый матеріал – холофайбер (від англ. hollow (пустий) і fiber (волокно)). Він виготовлений з поліестрових волокон, що розташовуються під кутом та вертикально, утворюючи своєрідні спіралі. Наявність в нетканому матеріалі повітря робить його дуже теплим. Крім того холофайбер гігієнічний, добре пропускає повітря, не викликає алергії, м'який, легкий, його можна прати в пральній машині [2], не мнеться, тонкий (але не тонший за тінсулейт), не електризується, не спалахує, не поглинає запахи, дешевий. Холофайбер, крім одягу, застосовується у виготовленні подушок, ковдр, виробів для новонароджених, для утеплення будівель, як основа для повітряних фільтрів, а також в космічному та авіаційному виробництві.

Сьогодні матеріали із вовни, льону, бавовни, шовку і хімічних волокон дуже різноманітні. В найближчому майбутньому до них приєднуються матеріали з небаченими раніше властивостями і можливостями. В наш час матеріали – це не лише звичайна пряжа, але й надсучасні види текстилю, що застосовуються в різних напрямках, від оборонного комплексу до світової високої моди. Ці технології розробляють в лабораторіях наноплазмових процесів. В спеціальних камерах текстиль покривають найтоншим металевим пилом. Конструкція наноустановки повністю герметична. В вакуумі газ аргон (Ar) розганяють електромагнітним полем. Він вибиває з металеві пластини мікрочастинки, які осідають на поверхні текстилю. З'єднати матеріал з металом так, щоб полотно залишалось м'яким, легким і пропускало повітря нещодавно було неможливо. Для цього потрібно покрити матеріал металевим шаром не більше кількох атомів. Процес нанообробки займає кілька хвилин, в результаті чого матеріал отримує не лише ефектний вигляд, а йому надаються властивості металу.

Антимікробні властивості та ефект самоочистки краще всього отримують при нанесенні на трикотаж срібного покриття. Деякі декоративні властивості матеріалу краще отримувати при нанесенні титану і його з'єднань, наприклад нітрити титану.

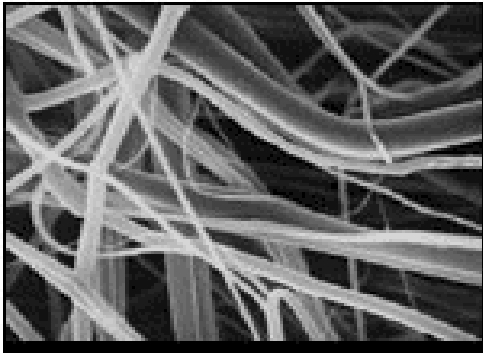


Рис. 1. Мікрволокна тінеулейта

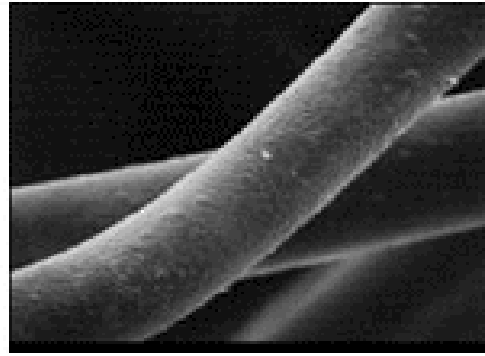


Рис. 2. Мікрволокна звичайного утеплювача

Супертекстиль може виконувати роль антилокаційного маскування військової техніки, знизивши видимість для радарів. Матеріал для пошиття з металевим напилення є майже непроникним для електромагнітних хвиль. Сигнал мобільного телефону, який легко проникає крізь метровий шар бетону, з важкістю долає матеріал з металевим напиленням товщиною в десятю долю міліметра. Вся таємниця в алюмінії, екрануючі властивості цього металу давно відомі. Матеріал з наночастинками алюмінію знижує ефективність ряду засобів електронної розвідки, сучасних пристроїв нічного бачення, обладнаних тепловізорами. Об'єкти, температура яких вище температури оточуючого середовища, в повній темряві висвічуються на екрані тепловізора в яскравих жовто-червоних відтінках. Алюміній відбиває тепло всередині замаскованого об'єкта і тепловізор отримує менше інфрачервоних променів, тобто зображення стає більш блідим і розпізнати на ньому людину чи техніку важче. Оброблений антиперенами текстиль з натуральних чи штучних волокон довгий час витримує дію відкритого вогню. Текстиль нового покоління з незвичайними візуальними ефектами відкриває нові перспективи для творців моди, наприклад фотохромні тканини, які змінюють колір при ультрафіолетовому світлі. В пори матеріалу вводяться мікрогранули з речовиною, що володіє світлочутливістю. Ефект перетворення кольору залежить від класу хімічних з'єднань, вони можуть бути як органічними так і неорганічними. Принцип реакції обумовлений поглинанням світлової енергії і переходом молекул в збуджений стан. Таким чином частинки набувають підвищеної реакційної властивості, в результаті матеріал розквітає. Не лише колір, але й температура може викликати ефект хамелеона. Дивовижні перетворення матеріалів можна спостерігати і в повній темряві. Сучасний текстиль може світитись самостійно, заряджаючись як сонячна батарея. Визначення фосфорисценції походить від слова фосфор, при цьому в складі просочення цього сяючого в темноті матеріалу фосфору немає. Таємниця цього сяючого матеріалу в люмінофорах європія. В чистому вигляді цей метал можна отримати тільки в лабораторії.

Висновок

На сучасному етапі розвитку економіки України основними напрямками виробництва є підвищення конкурентоспроможності товарів, експортних можливостей підприємств легкої промисловості, впровадження нових технологій і матеріалів за рахунок оптимального добору необхідних видів сировини, зміни їх будови та спеціальних обробок. Запорукою підвищення ефективності трикотажної промисловості є знання текстильних матеріалів, основних вимог до них, розробка сучасних конструкцій на підставі добору режимів обробки за їх волокнистим складом, будовою, асортиментом і призначенням.

Література

1. Материаловедение швейного производства / Бузов Б.А. и др. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.
2. Влияние стирки на тепловые свойства пакетов теплозащитной одежды / Бахшиева Л.Т., Захарова Е.А., Александров В.И., Салтыкова В.С. // Швейная промышленность. – 2004. – № 1. – С. 45–46.
3. Лабораторный практикум по материаловедению швейного производства / Бузов Б.А. и др. – М. : Легпромбытиздат, 1991. – 346 с.
4. Конфекціювання матеріалів для одягу / Супрун Н.П. та ін. – К. : Знання, 2005. – 159 с.
5. Луцик Р.В. Тлумачний словник з матеріалознавства та текстильних виробів / Р.В. Луцик, А.М. Слізков – К. : Арістей, 2004. – 303 с.

Рецензія/Peer review : 19.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

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

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ ДІТЕЙ З МЕТОЮ ВИВЧЕННЯ ЇХ АНТРОПОМЕТРИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

У статті приведено результати аналізу найбільш поширених методів оцінки фізичного розвитку дитини, що застосовують в медичній практиці при обов'язкових медичних оглядах, а також при дослідженні антропометричної характеристики фігур для умов проектування одягу. Отриману інформацію систематизовано та надано рекомендації для подальшого застосування у напрямку удосконалення антропометричної бази даних для виготовлення дитячого одягу.

Ключові слова: фізичний розвиток, антропометрична характеристика дітей, пропорції та розміри тіла, сегменти тіла, біологічний розвиток дитини, метод індексів.

O.A. DITKOVSKA
Khmelnitsky National University

ANALYSIS RESEARCH PROCESSES OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF CHILDREN FOR STUDY OF ANTHROPOMETRIC CHARACTERISTICS

Abstract – The aim is to analyze the research processes of growth and evaluation of physical development of children of primary school age to study their anthropometric characteristics.

This article provides an analysis of the most common methods for assessing the physical development of the child that is used in medical practice in the compulsory medical examination and the study of anthropometric characteristics of figures for the conditions of designing clothes. Determined that the most common methods of assessing the physical development of children is a correlation methods, nonparametric statistics and index method. Found that the most informative for garment design process is to study the child's body by changing the proportions of the parts (segments) of the body in the process of development.

The received information is systematized and recommendations are given for future application towards improving anthropometric databases for the manufacture of children's clothing.

Keywords: physical development, anthropometric characteristics of children aspect ratio and body size, body segments, the biological development of the child, the method indexes.

Постановка проблеми

Процес проектування одягу передбачає виготовлення конкурентоспроможного високоякісного виробу, який, в першу чергу, має відповідати антропометричній характеристиці споживача.

В умовах глобалізації та постійних перемін суспільно-політичного характеру, а також під впливом багатьох факторів (акселерація, демографічні зміни, генетична програма, харчування, психоемоційна стимуляція, хвороби, режим дня, тощо), зовнішній вигляд та розміри дитячих фігур одного віку зазнають постійних змін.

Особливо актуальним є дослідження ростових змін у фігурах дітей молодшої шкільної групи, що складають майже 47 % від загальної чисельності дітей шкільного віку (6...16 рр.) України. У такому віці діти перебувають на стадії психофізіологічного розвитку та формування особистості. Зокрема дівчаткам властиве випередження темпів психічного та естетичного розвитку, що пояснює їх підвищений інтерес до одягу, який, в свою чергу, відіграє значну роль в утвердженні їх власної індивідуальності.

Зважаючи на те, що розміри дитячих фігур та їх пропорційна будова – вихідні дані для створення якісного ергономічного одягу – перебувають у стані постійних змін, дослідження антропометричної характеристики є актуальним та доречно розглядати у контексті вивчення явища фізичного розвитку дитини.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій

Науковими розробками для удосконалення антропометричної бази даних для проектування жіночого і дитячого одягу займається велика кількість вітчизняних та зарубіжних вчених. Цій темі присвячена велика кількість робіт таких російських науковців як Коблякова Є.Б., Шершнева Л.П., Хохаева З.З., Лопандина С.К., Кузнецова А.В, Ахмедулова Н.І., Асанова А.Є. За результатами їх роботи розроблена нова розмірна типологія росіян (2007 р), а також дослідження населення окремих республік РФ (2005 -2008рр).

Серед українських вчених дослідженням антропометричної характеристики тіла людини для умов виробництва одягу займаються Славінська А.Л., Цимбал Т. В., Баранова Т.М., Кудрявцева Н.В. та інші. Однак об'єктом досліджень цих авторів, у більшій мірі, виступають фігури дорослого жіночого населення та дівчат-підлітків, для яких вже не характерні швидкі зміни розмірів і пропорцій тіла, а фігура максимально наближена до жіночої.

Суттєвий вклад у проблему дослідження пропорційної будови дитячих фігур зроблено Кудрявцевою Н.В. Так у роботах [1, 2] виконано систематизацію фігур дівчаток та хлопчиків шкільного віку (6,6 рр. – 18 рр.) за загальною об'ємно просторовою характеристикою будови тіла у трьох площинах, що здійснено за методикою [3]. У результаті визначено найбільш поширені типи фігур та обґрунтовано необхідність перегляду меж вікової періодизації розвитку, що запропонована діючими стандартами, що призведе до оптимізації кількості типових фігур. Проте вивчення параметрів дитячих фігур в аспекті висвітлення процесів зростання та фізичного розвитку дітей, що є більш актуальним для молодшого шкільного віку, зроблено не було.

Відомо, що дослідження дитячого населення є найскладнішим оскільки процес зростання у дітей відбувається нерівномірно, а збільшення різних поздовжніх розмірів тіла відбувається різними темпами, досягаючи піку швидкості і завершаючи ріст не одночасно. Форма, ступінь виразності і направлення

мінливості в різних ознаках неоднакові і залежать від таких факторів, як вік, стать, етнічна належність, соціальне середовище, особливості перебігу біохімічних процесів в організмі дитини, тощо [4 - 6]. Зокрема у роботі [7], автором були розглянуті вікові особливості антропометричної характеристики будови тіла дитини, також виконано порівняльний аналіз вікової періодизації дітей шкільного віку; розроблена схема основних факторів, що впливають на ріст дитини та регулюють його; висвітлено причини, проблеми та прояви явища акселерації, що привело до зміни не лише зовнішнього вигляду дітей і дорослих, а й до дисбалансу між фізичними і психологічними характеристиками особи. Пошуки у даному напрямку виявили необхідність у більш глибокому дослідженні поняття "фізичного розвитку дитини" та процесів, що прямо впливають на формування і розвиток фігури дитини.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

В напрямку удосконалення антропометричної бази даних для проектування дитячого одягу недостатньо висвітлена проблема дослідження процесів росту і розвитку дитячих фігур, що на різних етапах зростання дитини визначає розміри, форму та пропорції тіла майбутньої дорослої людини. На шляху до цього важливим етапом дослідження є аналіз існуючих способів та методів дослідження фізичного розвитку дітей, які практикуються у медицині, антропології та психології.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є аналіз наукових досліджень процесів росту і оцінювання фізичного розвитку дітей молодшого шкільного віку з метою вивчення їх антропометричної характеристики.

Виклад основного матеріалу

Всі фізіологічні функції в організмі, так чи інакше, зв'язані з розмірами тіла, процесами зростання органів і тканин. Тому у медичній літературі [8, 9] прийнято диференціювати поняття росту і розвитку, маючи на увазі, що ріст – це кількісне збільшення біомаси тіла, а розвиток – це якісні та кількісні перетворення в організмі, що забезпечують зміни його функцій.

Відомо, що фізичний розвиток зростаючого організму є основним показником стану здоров'я дитини. Відхилення в стані здоров'я діагностується, головним чином, при обов'язкових медичних оглядах у дошкільному віці перед вступом до школи і в період навчання [10].

Термін "фізичний розвиток" у клінічній педіатрії [8, 9] трактується як динамічний процес зростання (збільшення довжини і маси тіла, розвиток окремих частин тіла тощо) і біологічне дозрівання дитини в той чи інший період дитинства. Під фізичним розвитком у морфології [4] розуміють деяку умовну міру фізичної дієздатності організму, яка визначає запас його фізичних сил. Іншими словами, фізичний розвиток – це сукупність морфологічних і функціональних ознак, які взаємопов'язані і залежать від навколишнього середовища, та характеризують процес дозрівання у певний момент часу [9]. Підпорядковуючись біологічним закономірностям, фізичний розвиток також залежить від соціальних умов і безпосередньо визначає кінцеві розміри і форму тіла людини.

Традиційно для оцінки фізичного розвитку дітей і підлітків визначають [8, 11]:

- соматоскопічні ознаки – стан шкірних покривів, слизових оболонок, підшкірного жирового шару, кістково-м'язової системи, форми грудної клітки і хребта, ступінь статевого розвитку (по наявності вторинних статевих ознак) та інші;
- соматометричні ознаки – визначають довжину тіла (зріст), масу тіла, окружність грудної клітки та інші;
- фізіометричні ознаки – визначають життєву ємкість легенів, м'язову силу, кров'яний тиск, пульс та інші.

Для встановлення закономірностей перебігу процесів росту у медичній практиці розроблено методики дослідження, що базуються на встановленні взаємозв'язку між біологічним та фізичним розвитком дитини.

За даними медичної літератури [8, 9] найбільш розповсюдженими методами оцінки фізичного розвитку дитини є метод кореляції (за шкалами регресії), метод непараметричної статистики (центильний аналіз чи метод перцентилей) та метод індексів.

Найбільш інформативним методом оцінки фізичного розвитку у педіатрії є комплексна схема оцінки, що відбувається у два етапи. На першому етапі визначають рівень біологічного розвитку дитини і його відповідність календарному віку. Оцінка здійснюється за довжиною тіла, його річними приростами, термінами прорізування постійних зубів та їх кількості, змінами у пропорціях тіла, ступенем розвитку вторинних статевих ознак. Для всіх вікових періодів оцінка пропорцій здійснюється за індексами співвідношення, що наведені у табл. 1 (колонка 1).

На другому етапі визначають гармонійність морфологічних параметрів дитини за шкалами регресії маси, обхвату грудної клітки та зросту дитини. Крім цього виконують порівняння індексів фізичного розвитку (табл. 1) із середніми статеві-віковими значеннями, що наведені у вигляді центилей [9 - 11].

Аналіз літературних джерел, що пов'язані із дослідженнями в галузі швейного виробництва показав, що для визначення фізичного розвитку та антропометричних параметрів тіла дитячого населення традиційно застосовують наступні способи дослідження:

- за величинами річних приростів тотальних ознак;
- за зміною співвідношення пропорцій частин тіла;
- за класифікаційними схемами, що виділені на основі антропоморфних характеристик тіла.

Перелік індексів співвідношення розмірних ознак для визначення біологічного віку дитини гармонійної тілобудови [9, 10]

Біологічний вік	Фізичний розвиток
1	2
1 $\frac{\text{Верхнє лице (см)}}{\text{Зріст (см)}} \times 100$	1 Індекс угодованості (Л. І. Чулицької) $(3 O_n + O_c + O_g) - P$ (см)
2 $\frac{\text{Довжина ноги (см)}}{\text{Зріст (см)}} \times 100$	2 Індекс пропорційності (Л. І. Чулицької) $3 O_n = O_{гк} = O_c + O_g$ (см)
3 $\frac{\text{Довжина ноги (см)}}{\text{Верхнє лице (см)}}$	3 Застосування центильних таблиць для визначення співвідношення маси і довжини тіла
4 $\frac{\text{Обхват голови (см)}}{\text{Зріст (см)}}$	4 Масо-зростовий показник А. Кетле $\frac{\text{Маса (г)}}{\text{Зріст (см)}}$
5 Індекс Ф.Ф. Ерісмана $\text{Обхват грудей (см)} - 1/2 \text{ Зросту (см)}$	5 Індекс Ф.Ф. Ерісмана $\text{Обхват грудей} - 1/2 \text{ Зросту (см)}$
6 Філіппінський тест	6 Індекс "стені" $\frac{\text{Зріст}}{2 \times \text{Маса (кг)} + \text{Обхват грудей}}$

Примітка. Для визначення індексу угодованості використовують наступні ознаки: O_n – обхват плеча; O_c – обхват стегна; O_g – обхват гомілки; $O_{гк}$ – обхват грудної клітки; P – зріст.

Традиційно темпи зростання організму відслідковують за річними приростами зросту, маси тіла, обхвату грудей та обхвату голови [4 - 6]. Найбільш важливими ці показники є у перші роки життя дітей та в період статевого дозрівання – вони дозволяють відстежити будь-які затримки у гармонійному розвитку дитини та виділити періоди чи піки інтенсивного росту [4, 8, 9, 11].

Індивідуальна оцінка фізичного розвитку проводиться шляхом порівняння річних приростів з відповідними віковими показниками. Вікові показники фізичного розвитку опубліковані в спеціальних таблицях, які базуються на кореляційній залежності основної ознаки фізичного розвитку – лінії регресії за зростом [9, 10]. Це нормативні величини змінювання маси і обхвату грудей на кожний сантиметр зросту. Таблиці дозволяють швидко і об'єктивно надати комплексну оцінку фізичного розвитку дитини з врахуванням вікової групи, статі, територіальної і етнічної приналежності.

Однак, у зв'язку з часовими зсувами періодів розвитку, швидкості нарощування маси тіла та інших показників фізичного розвитку, табличні нормативи повинні періодично переглядатися, що потребує зусиль та безперервної уваги науковців даної галузі.

Інший метод оцінки – за зміною пропорцій частин тіла – використовують для характеристики дітей всіх вікових періодів. Дослідження пропорцій відбувається двома способами, які нерідко поєднуються. Перший спосіб полягає у визначенні частки окремих сегментів тіла по відношенню до його габаритного розміру – зросту людини. Методика розрахунку сегментів тіла є стандартною та описана в спеціальній літературі [4, 5]. Класично так оцінюють пропорції поздовжніх розмірів тіла людини (що найбільше змінюються в процесі росту), а також габаритні розміри тіла по ширині: на рівні плечового поясу та стегон. Прикладом є оцінювання пропорційної будови дитини за співвідношеннями висоти голови до зросту, яке часто застосовується при побудові ескізів дитячої фігури.

Другий спосіб оцінювання пропорцій тіла полягає у виділенні ряду показників-індексів, що дозволяють виразити співвідношення ділянок тіла у відносних одиницях. Індеси можуть розрахувати за середньоарифметичними величинами двох розмірних ознак чи сегментів тіла, причому величина меншого розміру виражається в частках (або відсотках) від більшого.

Метод індексів впродовж декількох десятиліть піддавався гострій критиці (П.М. Башкіров (1962); Ж.Ж. Рапопорт (1970) та ін.) і був деякий час несправедливо забутий, однак за останні десятиліття метод індексів знову отримав широке застосування і широко висвітлений у [3, 5, 6, 11].

При використанні різноманітних індексів суттєво уточнюються уявлення про ступінь гармонійності фігури дитини у її біологічному віці. Найбільше розповсюдження отримало визначення співвідношень між верхнім і нижнім сегментами тіла; співвідношення частин тіла по довжині, у поперечному напрямку, та між обхватами, а кількість одночасно досліджуваних показників-індексів може сягати до кількох десятків, що залежить від мети досліджень. Застосування методу індексів для оцінки пропорційної характеристики дитячих фігур є найбільш показовим, а також простим, доступним, не обтяжливим для дітей та не вимагає спеціальних умов дослідження.

У підсумку проведених досліджень автором систематизовано отриману інформацію про існуючі методи оцінювання фізичного розвитку дитини, що застосовуються при медичних оглядах та у напрямку проектування одягу, що показано на схемі рис. 1.

На основі аналізу рис. 1 відмічено, що для умов проектування дитячого одягу широке розповсюдження та практичну реалізацію отримав процес розробки класифікаційних схем для виділення морфологічних типів фігур. Подібні розробки виконуються за оцінкою сукупності абсолютних та відносних показників, а також деяких антропоморфних характеристик тіла, методами соматоскопії, кореляції та

індексів, які нерідко поєднуються. Тому їх вивчення вимагає більш детального та глибинного аналізу.

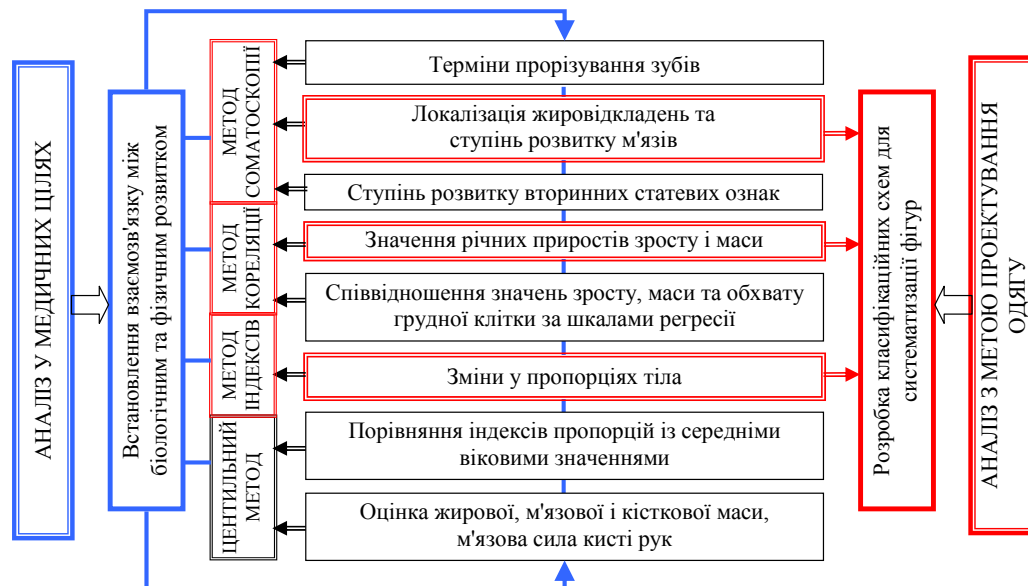


Рис. 1. Характеристика параметрів, що застосовуються у відомих методах оцінювання фізичного розвитку дітей

Висновки

На основі аналітичного огляду наукової медичної та технічної літератури з'ясовано, що в основу антропометричного дослідження дитячого організму покладено вивчення фізичного розвитку та пов'язаних з ним біологічних процесів, а також впливу на них факторів зовнішнього та внутрішнього середовища.

Визначено, що найбільш розповсюдженими методами оцінки фізичного розвитку дітей є методи кореляції, непараметричної статистики та метод індексів. Встановлено, що найбільш інформативними для процесу проектування одягу є дослідження дитячого організму за зміною пропорцій частин (сегментів) тіла у процесі розвитку. Відмічено, що застосування методу індексів для оцінки пропорційної характеристики дитячих фігур та виділення окремих типів тілобудов є найбільш раціональним, універсальним та не вимагає спеціальних умов дослідження.

Література

1. Кудрявцева Н.В. Визначення найбільш поширених типів фігур дівчаток шкільного віку за їх загальною об'ємно-просторовою характеристикою будови тіла / Н.В. Кудрявцева // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2013. – № 1. – С. 221-228.
2. Кудрявцева Н.В. Удосконалення діючої вікової періодизації розвитку хлопчиків шкільного віку / Н.В. Кудрявцева // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2012. – № 6. – С. 130-136.
3. Авторське право на твір № 19524 Україна. Методика визначення різноманіття варіантів тілобудови людини стосовно проектування одягу / Н.В. Кудрявцева, О.А. Дітковська; заявл. 9.10.2006; опубл. 08.02.2007, Бюл. № 12. – С. 187.
4. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии : [учеб. пособ для студ.] / Т.Н. Дунаевская, Е.Б. Коблякова, Г.С. Ивлева, Р.В. Иевлева / [под ред. Е.Б. Кобляковой]. – М. : Мастерство ; "Академия", 2001. – 288 с.
5. Шершнева Л.П. Основы прикладной антропологии и биомеханики : учеб. пособ. / Л.П. Шершнева, Т.В. Пизарева, Л.В. Ларькина. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2004. – 144 с. – (Профессиональное образование).
6. Славінська А.Л. Методи і способи антропометричних досліджень для проектування одягу: монографія / А.Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 191 с.
7. Дітковська О.А. Передумови вивчення антропометричної характеристики дитячих фігур / О.А. Дітковська, Н.В. Кудрявцева // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2006. – № 3. – С. 176-179.
8. Воронцов И.М. Пропедевтика детских болезней / И.М. Воронцов, А.В. Мазурин; под общ. ред. О.А. Матальгиной. – [3-е изд., доп. и переработ.]. – СПб. : Издательство ФОЛИАНТ, 2009. — 1008 с.: ил.
9. Узунова А.Н. Физическое развитие детей / А.Н. Узунова, О.В. Лопатина, М.Л. Зайцева. – Челябинск : Изд-во Челябинская гос. мед. акад., 2002. – 184 с.
10. Оценка физического развития и состояния здоровья детей и подростков. – М. : ТЦ Сфера, 2004. – 64 с. – (Правовая библиотека образования).
11. Дорохов Р.Н. Спортивная морфология : [учеб. пособие для высш. и средн. спец. завед. физической культуры] / Р.Н. Дорохов, В.П. Губа. – М. : СпортАкадемПресс, 2002. – 236 с.

Рецензія/Peer review : 17.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Славінська А.Л.

ОСОБЛИВОСТІ ДИЗАЙНУ МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

В статті зібрані воедино найбільш загальні рекомендації щодо дизайну рекламних та навчальних мультимедійних презентацій і застосовано їх до презентації технологічних операцій та обладнання в легкій промисловості для рекламних та навчальних цілей. Проведено аналіз недоліків і характерних помилок при створенні презентацій. Сформульовано основні принципи розробки, варіанти структури і загальні вимоги до таких презентацій. Особлива увага приділена роботі з текстом, вибору фону і колірної схеми (розглянуті значення кольорів і їх поєднання), а так само мультимедійним засобам (анімації, діаграмам, звуку, графіці). Представлено основні рекомендації з дизайну ефективної презентації.

Ключові слова: дизайн, презентація, інформація, шрифти, колір, анімація.

A.K. KARMALITA

Khmelnytsky National University

DESIGN FEATURES A MULTIMEDIA PRESENTATION PROCESS IN LIGHT INDUSTRY

The paper collected together the most common recommendations for the design of promotional and educational multimedia presentations and apply them to presentations manufacturing operations and equipment in light industry for promotional and educational purposes. The analysis of the specific shortcomings and errors when creating presentations. The main principles of development, options for structure and general requirements for such presentations. Particular attention is paid to work with text, choosing background and colour scheme (discussed colour values and their combinations), as well as multimedia (animation, diagrams, sound, graphics). The basic design tips for effective presentations.

Keywords: design, presentation, information, fonts, colour, animation.

Вступ

Психологи помітили, що люди запам'ятовують 10% прочитаного, 20% почутого, 30% побаченого, 100% того, що викликало у них живий інтерес і емоційне залучення. Напевно, тому презентація залишається одним з найефективніших інструментів маркетингу і PR, і останнім часом широко використовується в різних освітніх установах. У MS Office для цього є чудовий засіб – PowerPoint, який дозволяє представляти інформацію в максимально ефективному виді. З його допомогою користувач може швидко оформити доповідь в єдиному стилі, значно підвищивши міру сприйняття інформації аудиторією.

Беззаперечним є факт, що дизайн презентацій робить безпосередній вплив на ефект від реклами, мотивацію навчання, швидкість сприйняття матеріалу, стомлюваність і ряд інших важливих факторів. Тому дизайн інтерфейсу презентації не повинен розроблятися на інтуїтивному рівні. Потрібен науково обгрунтований, зважений і продуманий системний підхід. Існує думка, що наочний матеріал не просто деяка інформація в чуттєвій формі представлення, а інформаційна модель певного маркетингового та педагогічного досвіду, яка повинна відповідати вимогам естетики, ергономіки і дизайну. Щоб презентація добре сприймалася слухачами, не викликала негативних емоцій і досягала цілей, необхідно дотримуватися ряду правил її оформлення [1–3].

В даній статті ці правила адоптовані до презентації технологічних операцій та обладнання легкої промисловості, яка має специфічний характер.

Представлення інформації

Презентація припускає поєднання інформації різних типів: тексту, графічних зображень, музичних і звукових ефектів, анімації і відео-фрагментів. Тому необхідно зважати на специфіку комбінування фрагментів інформації різних типів. Для презентації технологічних операцій в легкій промисловості та технологічного обладнання, яке його реалізує, важливим є представлення фізичної суті операції, та руху робочих органів обладнання. Крім того, оформлення і демонстрація кожного з перерахованих типів інформації також підкоряється певним правилам. Так, наприклад, для текстової інформації важливий вибір шрифту, для графічної – яскравість і насиченість кольору, для найкращого їх спільного сприйняття потрібне оптимальне взаємне розташування на слайді і обов'язкове застосування анімаційних ефектів [4, 9].

Об'єм і форма представлення інформації:

- Рекомендується стислий, інформаційний спосіб викладення матеріалу.
- Бажана присутність на слайді блоків з різнотипною інформацією (текст, графіки, діаграми, таблиці, схеми, формули), які доповнюють один одного.
- Заголовки мають бути короткими і привертати увагу аудиторії.
- У текстових блоках необхідно використовувати короткі слова і пропозиції.
- У таблицях рекомендується використати мінімум рядків і стовпців.
- Уся вербальна (без усного супроводу) інформація повинна ретельно перевірятися на відсутність орфографічних, граматичних і стилістичних помилок.
- При описанні технологічної операції обов'язково використовувати схеми цієї технологічної операції. Найбільш важлива інформація повинна розташовуватися в центрі екрану.

- Інформаційних блоків на слайді не повинно бути надто багато (оптимально 3, максимум 5).
- Рекомендований розмір одного інформаційного блоку — не більше 1/2 розміру слайду;
- Пояснюючий напис повинен розташовуватися під малюнком (фотографією, діаграмою, схемою).

Способи і правила виділення інформації: усі інформаційні елементи (текст, зображення, діаграми, елементи схем, таблиці) повинні ясно і рельєфно виділятися на тлі слайду, для цього використовуються рамки, промальовування меж (для оформлення зображень, таблиць); тіні (для відділення контуру тексту і об'єктів від фону); заливка, штрихування (для дизайну основ інформаційних блоків); стрілки (для оформлення схем і логічних блоків). Ключові слова в інформаційному блоці необхідно виділити (кольором, підкресленням, напівжирним і курсивним зображенням, розміром шрифту).

Правила використання кольору. Одним з основних компонентів дизайну презентації є врахування фізіологічних особливостей сприйняття кольорів людиною [1, 5, 6]. До найбільш значимих з них відносять стимулюючі (теплі) кольори сприяють збудженню і діють як подразники (в порядку убавання інтенсивності дії): червоний, помаранчевий, жовтий; дезінтегруючі (холодні) кольори заспокоюють, викликають сонний стан (у тому ж порядку): фіолетовий, синій, блакитний, синьо-зелений; зелений; нейтральні кольори: ясно-рожевий, сіро-блакитний, жовто-зелений, коричневий. Поєднання двох кольорів (кольори знаку і кольору фону) істотно впливає на зоровий комфорт, причому деякі пари кольорів не лише стомлюють зір, але і можуть привести до стресу (наприклад, зелені букви на червоному фоні). Найкраще прийнятні поєднання кольорів шрифту і фону: білий на темно-синьому, лимонно-жовтий на пурпурному, чорний на білому, жовтий на синьому. При зображенні схем технологічних операцій кольори матеріалів для одягу та взуття повинні бути натуральними.

Можна сформулювати наступні **рекомендації з використання кольору** в презентації:

- При зображенні схем технологічних операцій кольори матеріалів для одягу та взуття повинні бути натуральними.
- Складання колірної схеми презентації розпочинається з вибору трьох базових кольорів: фону, тексту, заголовку; трьох головних функціональних кольорів, які використовуються для представлення звичайного тексту, гіперпосилань і відвіданих посилань.
- Для фону і тексту необхідно використати контрастні кольори: текст повинен добре читатися, але "не різати око".

Правила використання фону:

- Фон є елементом заднього (другого) плану, повинен виділяти, відтіняти, підкреслювати інформацію, що знаходиться на слайді, але не затуляти її.
- Легкі пастельні тони краще підходять для фону, чим білий колір.
- Для фону переважні холодні тони.
- Замість того, щоб використати суцільний колір краще вибрати плавний градієнтний перехід кольорів, що гармонійно поєднуються, м'яку (неконтрастну) текстуру або нейтральний фон.
- При плануванні дизайну слайду слід всіляко уникати проектування текстових блоків на області фону, що містять зображення і декоративні елементи.

Правила використання шрифтів

При виборі шрифтів для представлення вербальної інформації презентації слід враховувати наступні правила [3, 7, 8]:

- Не рекомендується змішувати різні типи шрифтів в одній презентації.
- Враховуючи, що гладкі (плакатні) шрифти, тобто шрифти без зарубок (типу Arial, Tahoma, Verdana і тому подібне), легше читати з великої відстані, чим шрифти із зарубками (типу Times), то для основного тексту переважно використати плакатні шрифти (Arial, Tahoma, Verdana); для заголовка можна використати декоративний шрифт, якщо він добре читаний і не контрастує з основним шрифтом.
- Текст має бути читабельним (його повинно бути легко прочитати з найдальшого місця).
- Рекомендовані розміри шрифтів: для заголовків — не менше 32 пунктів і не більше 50, оптимально — **36** пунктів; для основного тексту — не менше 18 пунктів і не більше 32, оптимально — **24** пункти; не слід зловживати прописними буквами (вони читаються гірше за рядкові), тому їх допустимо використовувати тільки для смислового виділення невеликих фрагментів тексту.
- Найбільш важливий матеріал, що вимагає обов'язкового засвоєння, бажано виділити яскравіше для включення асоціативної зорової пам'яті.
- Для виділення інформації слід використати колір, **жирний** і/або **курсивний** шрифт.

Анімаційні ефекти. Можливості анімації дозволяють акцентувати увагу слухачів на найбільш важливих моментах доповіді, дозволяють зрозуміти логіку побудови логічних ланцюжків, схем, таблиць.

Рекомендується використати можливості комп'ютерної анімації для представлення інформації на слайді. Проте не варто надмірно насичувати презентацію такими ефектами, інакше це викличе негативну реакцію аудиторії [10, 11].

- Анімація має бути стримана, добре продумана і допустима для демонстрації динамічних процесів; для привертання уваги слухачів, створення певної атмосфери презентації.
- Анімація тексту має бути зручною для сприйняття: темп повинен відповідати техніці читання. Не варто зловживати різними анімаційними ефектами, вони не повинні відволікати увагу від змісту

інформації на слайді.

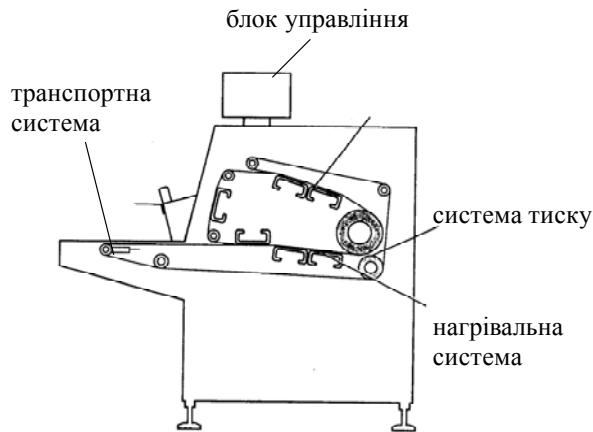


Рис. 1. Структурна схема пресу для дублювання деталей одягу

дотримання правил використання кольору, шрифтів та розміщення інформації необхідно використати анімаційні ефекти. При цьому показати рух верхньої та нижньої транспортуючих стрічок і їх дію на зону стику дублювання.

Висновки

У роботі була зроблена спроба зібрати воедино найбільш загальні рекомендації по дизайну презентацій технологічних операцій та обладнання легкої промисловості. Особлива увага була приділена роботі з текстом, вибору фону і колірної схеми (розглянуті значення кольорів і їх поєднання), а так само мультимедійним засобам (анімації, діаграмам, звуку, графіці).

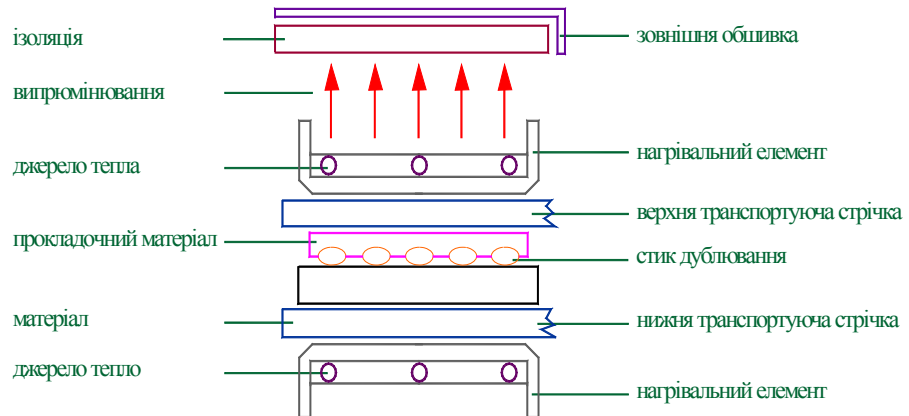


Рис. 2. Схема виконання технологічної операції дублювання деталей одягу

Література

1. Шестаков А.П. Правила оформления компьютерных презентаций [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://comp-science.narod.ru/pr_prez.htm.
2. Стрелкова Н.В. Рекомендации по созданию учебных презентаций : презентация [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://intergu.ru/infoteka/?main=&page=25>.
3. Шушкевич А.С. Принципы и правила создания учебных мультимедийных презентаций [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://konf.samsspc.ru/informacionnye-i-kommunikacionnye-technologii/38-principy-i-pravila-sozdaniya-uchebnyx.html>.
4. Мультимедійні системи як засоби інтерактивного навчання : посібник / Жалдак М. І., Шут М. І., Жук Ю. О., Дементівська Н. П., Пінчук О. П., Соколюк О. М., Соколов П. К. / за ред. Жука Ю. О. – К. : Педагогічна думка, 2012. – 112 с.
5. Microsoft Office Online [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://office.microsoft.com/ru-ru/powerpoint>
6. Формула праздника [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.formula-prazdnika.ru>
7. PowerLexis [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://powerlexis.ru>
8. Inomir.ru [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.inomir.ru/psychology/psychology_of_color/
9. Беляков Е.В. Подготовка и использование презентаций в учебном процессе [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://belyk5.narod.ru/Present.htm>
10. http://comp-science.narod.ru/pr_prez.htm
11. http://excel.szags.ru/All_source/Diagramms.htm

Рецензія/Peer review : 26.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Гордєєв А.І.

О.М. ГУЩАК

Львівський інститут економіки і туризму

Б.Д. СЕМАК

Львівська комерційна академія

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПОФАРБУВАНЬ РОСЛИННИМИ БАРВНИКАМИ НА ВОВНЯНИХ, ШОВКОВИХ І КАПРОНОВИХ ТКАНИНАХ

З метою обґрунтування технологічної та екологічної доцільності заміни токсичних марок синтетичних барвників рослинними при фарбуванні платтяно-блузкових вовняних, шовкових і капронових тканин літнього асортименту нами вивчено вплив виду рослинного барвника, протравлювача та субстрату цих тканин на стійкість їх пофарбувань до дії світлопогоди, прання, прасування та хімічного чищення. При цьому особливу увагу приділено оптимальному поєднанню виду рослинного барвника, виду протравлювача та виду субстрату з метою забезпечення максимального використання кожним з цих компонентів своїх потенційних ресурсів в процесі експлуатації виробів із названих тканин. Об'єктами досліджень служили: чистововняна камвольна платтяна тканина арт. 1144, чистошовкова платтяно-блузкова тканина арт. 11023 і чисто капронова блузкова тканина арт. 52013, пофарбовані різними видами рослинних барвників

Ключові слова: стійкість пофарбувань, світлопогода, прання, прасування, хімічне чищення, колірний контраст, насиченість, світлопогода та світлостійкість.

О.М. HUSCHAK

Lviv Institute of Economics and Tourism

B.D SEMAK

Lviv Academy of Commerce

A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF PAPERBOAR VEGETABLE DYES ON WOOL, SILK AND NYLON FABRICS

In order to substantiate the technological and environmental feasibility of replacing toxic brands of synthetic dyes when dyeing vegetable dress-blouse of wool, silk and nylon fabrics summer range, we studied the effect of the type of vegetable dye, disinfectant and substrate of these tissues on the stability of their tried to action light-weather, washing, Ironing and dry cleaning. Special attention is paid to the optimal combination of vegetable dye, the type of mordant and the type of substrate to ensure maximum use of each of these components, their potential resources in the process of purchasing the products from these tissues. Objects of studies were: wool a worsted cloth art. 1144, nylon dress-blouse fabric art. 11023 silk blouse and fabric art. 52013 coloured by different types of vegetable dyes

Keywords: stability of paperboar, light-weather, Laundry service, Ironing, chemical cleaning, colour contrast, saturation, light-weather and light fastness.

Постановка проблеми

Судячи з аналізу літературних джерел [2–4] і результатів наших досліджень [1, 5, 6], потреба у більш широкому застосуванні рослинних барвників у практиці роботи вітчизняних текстильних підприємств всесторонніх комплексних досліджень як властивостей самих рослинних барвників, так і пофарбованих ними текстильних матеріалів різного цільового призначення, способів виробництва та волокнистого складу обумовлена низкою причин, а саме:

- наявністю власної екологобезпечної текстильної сировини, ресурси якої в нашій країні, на відміну від економічно розвинутих зарубіжних країн, використовуються ще обмежено і нераціонально;
- в нашій країні ще відсутні спеціалізовані промислові компанії та фірми, які займаються вирощуванням рослинних барвників, їх первинною переробкою, фарбуванням текстильних матеріалів, і їх реалізацією та утилізацією, які успішно працюють у багатьох зарубіжних країнах;
- існує обмежена кількість фермерських підприємств в Україні, які займаються вирощуванням і реалізацією елітних видів рослин-барвників текстильного призначення, як це прийнято в деяких європейських країнах навіть при їх обмежених земельних ресурсах;
- потребує подальшого вдосконалення і існуюча технологія фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками;
- існує потреба у проведенні більш поглиблених технологічних і товарознавчих дослідженнях оптимальності асортименту і властивостей нових видів рослинних барвників, виборі оптимальних параметрів технологій їх використання, а також оцінки властивостей і рівня якості пофарбованих цими барвниками текстильних матеріалів.

В даній роботі ми обмежимося дослідженням тільки одного із вузлових питань формування якості пофарбувань рослинними барвниками, а саме оцінкою впливу виду рослинного барвника, протравлювача та субстрату досліджуваних тканин на формування стійкості їх пофарбувань до дії основних експлуатаційних чинників цих тканин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Необхідність комплексної оцінки стійкості пофарбувань на досліджуваних тканинах обумовлена декількома причинами. Назвемо основні з них:

- потребою виявити сфери найбільш ефективного використання пофарбованих обраними рослинними барвниками вовняних, шовкових і капронових платтяних тканин;
- бажанням виявити найбільш оптимальні за довговічністю експлуатації варіанти тканин при поєднанні в них відповідного виду рослинного барвника, виду протравлювача та виду субстрату;
- обмеженістю в літературних джерелах узагальної та обґрунтованої інформації щодо результатів комплексної оцінки стійкості пофарбувань, отриманих на текстильних матеріалах різними видами рослинних барвників;
- бажанням досягти на пофарбованих рослинними барвниками тканинах високостійких до дії різних фізико-хімічних чинників пофарбувань, які б гарантували ефективне використання потенційних ресурсів механічних властивостей цих тканин в умовах їх зношування;
- бажанням екологізувати технологію фарбування і асортимент одягових тканин шляхом їх фарбування досліджуваними видами рослинних барвників замість токсичних марок синтетичних барвників.

Для прикладу обмежимося аналізом деяких літературних джерел, які безпосередньо стосуються питань формування та оцінювання стійкості пофарбувань текстильних матеріалів одягового призначення.

Так, в роботі [1] наведені результати наших досліджень щодо оцінки впливу різних видів рослинних барвників і протравлювачів на зміну світлостійкості пофарбувань і субстрату вовняної платтяної тканини під дією на неї тривалого (300 год) сонячного опромінення. При цьому встановлено, що світлостійкість пофарбувань, отриманих обраними видами рослинних барвників для фарбування вовняної тканини, виявилась значно нижчою, ніж світлостійкість субстрату, що підтверджує необхідність, з одного боку, використання для фарбування цієї тканини більш світлостійких видів рослинних барвників і світлоінгібуючих протравлювачів, а з іншого боку, доцільність деякого зниження матеріаломісткості самої тканини.

Автором роботи [2] дана порівняльна характеристика стійкості отриманих різними видами рослинних барвників пофарбувань на платтяно-сорочкових тканинах різного волокнистого складу до дії різних фізико-хімічних чинників (світлопогоди, мокрих обробок, хімічних чисток і підвищеної температури). На основі цих досліджень розроблені рекомендації щодо вибору оптимальних видів рослинних барвників, протравлювачів і субстрату самих тканин з врахуванням реальних умов експлуатації виробів з цих тканин.

Автором роботи [4] вивчено вплив марки активного барвника та різного за хімічним складом субстрату на зміну світлостійкості пофарбувань і субстрату фіранкових тканин при їх сонячному та штучному опроміненні, а також вплив прання на зміну стійкості пофарбувань, кольорних характеристик пофарбувань названих тканин. Запропоновані шляхи оптимізації асортименту та властивостей фіранкових тканин різного волокнистого складу.

В роботі [5] дана порівняльна характеристика зміни світлостійкості пофарбувань на костюмних вовняних, шовкових і капронових тканинах у залежності від виду рослинного барвника, виду протравлювача та виду субстрату, а також тривалості сонячного опромінення досліджуваних тканин.

Автором роботи [6] вивчено вплив фарбування льняних платтяно-сорочкових тканин різними марками активних барвників на стійкість отриманих пофарбувань до дії багаторазового прання. Описана кінетика знебарвлення названих тканин під дією багаторазового прання. Обґрунтована можливість використання «холодної» технології для фарбування льняних тканин активними барвниками.

Аналіз наведених даних свідчить про те, що наявна в літературних джерелах інформація щодо стійкості отриманих рослинними та синтетичними барвниками пофарбувань на текстильних одягових та інтер'єрних матеріалах, як правило, носить епізодичний характер і потребує узагальнення та обґрунтування. Саме на вирішення цього завдання акцентована спрямованість наших досліджень. При цьому, практично відсутні теоретико-методологічні дослідження піднятих питань, націлені на:

- більш ефективне використання наявної в Україні екологічнобезпечної текстильної рослинної сировини;
- створення нового перспективного асортименту екологічнобезпечних текстильних матеріалів і виробів із підвищеною конкурентоспроможністю на вітчизняному та зарубіжному ринках.

Мета роботи: оцінка впливу рослинного барвника, протравлювача та субстрату платтяних вовняних, шовкових і капронових тканин на стійкість їх пофарбувань до дії сонячної радіації, повторного прання, прасування та хімічного чищення.

Викладення основного матеріалу та його авторська трактовка

Як відомо, при оцінюванні стійкості пофарбувань рослинними барвниками на досліджуваних тканинах до дії різних фізико-хімічних чинників слід враховувати декілька обставин, а саме:

- реальні умови експлуатації виробів із названих тканин;
- вибір і обґрунтованість умов їх модельованого зношування;
- вибір і обґрунтованість критеріїв і методів оцінювання стійкості пофарбувань до дії окремих

чинників (світлопогоди, прання, прасування та інших);

- відсутність стандартизованих норм для пофарбувань, отриманих на текстильних матеріалах рослинними барвниками;

- врахування вимог міжнародних стандартів щодо нормування та оцінювання стійкості пофарбувань рослинних барвників на одягових текстильних матеріалах.

Окрім цього, слід підкреслити, що згідно з ДСТУ 4239:2003 показники стійкості пофарбувань пофарбованих рослинними барвниками одягових і інтер'єрних тканин поки вважаються єдиними для оцінки екологічної безпечності цих тканин – одного із ключових критеріїв успіху цих тканин на зарубіжних ринках.

Використання в нашій роботі як об'єкта дослідження платтяно-блузкових тканин літнього асортименту обумовило потребу першочергової оцінки стійкості їх пофарбувань саме до тривалої дії світлопогоди, а також прання, прасування та хімічного чищення. При цьому зміну стійкості пофарбувань на пофарбованих різними видами рослинних барвників вовняних, шовкових і капронових тканинах ми оцінювали за єдиними показниками – загальним колірним контрастом (од. ΔE), який визначався спектроколіриметричним методом, а також візуально (в балах) з використанням темної шкали сірих еталонів [1].

Зупинимось на більш детальному аналізі результатів оцінки впливу виду рослинного барвника, виду протравлювача та виду субстрату досліджуваних тканин на стійкість їх пофарбувань до дії обраних нами чинників – сонячної радіації, прання, прасування та хімічного чищення. Методики модельованого зношування досліджуваних тканин наведені у наших роботах [1, 7].

1. Порівняльна характеристика стійкості пофарбувань до дії різних чинників на вовняних платтяних тканинах

Як видно із аналізу даних табл. 1–3, стійкість пофарбувань на досліджуваних тканинах до дії різних фізико-хімічних чинників залежить не тільки від виду рослинного барвника та протравлювача, але й в значній мірі від виду субстрату цих тканин. Це вимагає окремого розгляду впливу виду рослинного барвника, протравлювача і субстрату на вовняних, шовкових і капронових платтяних тканинах на стійкість їх пофарбувань до дії окремих фізико-хімічних чинників.

Як видно із аналізу даних табл. 1, із 6-и видів рослинних барвників, отриманих екстрагуванням трави гірчака перцевого, трави кермеку Гмеліна, сухих ягід глоду, кори черемхи, сухих листків черемхи та коренів ревеню, найбільш стійкими до дії сонячної радіації на вовняних платтяних тканинах виявились пофарбування екстрактом із сухих листків черемхи, а найменш світлостійкими пофарбування, отримані екстрактом із коренів ревеню. Так, наприклад, якщо після 100 год сонячного опромінення на пофарбованій екстрактом листків черемхи вовняній тканині загальний колірний контраст становить 1,5 од. ΔE , то на пофарбованій екстрактом із коренів ревеню тканині відповідно 12,4 од. ΔE . Достатньо світлостійкими на вовняних тканинах виявилось пофарбування, отримані із ягід глоду.

Певний вплив на зміну світлостійкості пофарбувань пофарбованих обраними видами рослинних барвників вовняних тканин мають і обрані види протравлювачів. При цьому встановлено, що одночасне із фарбуванням протравлювання $KAl(SO_4)_2$ у більшості випадків (окрім екстрактів із кори і листків черемхи) сприяє суттєвому підвищенню світлостійкості пофарбувань вовняної тканини. І, навпаки, протравлювання досліджуваних тканин $K_2Cr_2O_7$, як правило, окрім екстракту коренів ревеню, веде до помітного зниження стійкості пофарбувань на цих тканинах до дії сонячної радіації.

Використання $CuSO_4$ для протравлювання досліджуваних тканин найбільш виправданим виявилось для пофарбувань екстрактами гірчака перцевого, кори черемхи, листків черемхи, і коренів ревеню. Використання $FeSO_4$ для протравлювання вовняних тканин, пофарбованих обраними рослинними барвниками, доцільно застосовувати тільки для тканин, пофарбованих екстрактами гірчака перцевого, кермеку Гмеліна і коренів ревеню. $Fe(NH_4)(SO_4)_2$ доцільно використовувати тільки для тканин, пофарбованих екстрактом гірчака перцевого і коренів ревеню.

Суттєвий вплив обрані види рослинних барвників і протравлювачів мають на формування стійкості пофарбувань на вовняних тканинах до дії прання, хімічного чищення та прасування. При цьому встановлено, що стійкість пофарбувань до прання на цих тканинах виявилось значно нижчою, ніж до дії хімічного чищення. Це підтверджує доцільність в умовах експлуатації виробів із шовкових тканин застосовувати саме їх хімічне чищення замість багаторазового прання.

Більше того, оскільки нижня межа придатності (знебарвлення) пофарбованих вовняних тканин, як відомо [8], оцінюється загальним колірним контрастом 8 од. ΔE або 2-а балами темної шкали сірих еталонів, то фарбування досліджуваних вовняних, шовкових і капронових тканин деякими видами рослинних барвників із-за їх низької стійкості до прання слід вважати взагалі недоцільним. Це стосується екстрактів із кермеку Гмеліна, кори черемхи і коренів ревеню. Окрім цього, недоцільно використовувати для протравлювання названих тканин ті види протравлювачів, які сенсibilізують (активізують) знебарвлення отриманих пофарбувань при пранні цих тканин. Це перш за все стосується: $CuSO_4$ у поєднанні із екстрактами кермеку Гмеліна, ягід глоду, кори черемхи.

Виявлено певний вплив виду рослинного барвника і протравлювача на формування стійкості

пофарбувань вовняних тканин до дії хімічного чищення і прасування. Як видно із даних табл. 1, найбільш стійкі пофарбування на вовняній тканині до дії хімічного чищення забезпечують екстракти із ягід глоду, листків черемхи і гірчака перцевого, а до дії прасування – екстракти кермеку Гмеліна, кори черемхи і кореню ревеню. Що стосується впливу протравлювачів на стійкість пофарбувань до дії хімічного чищення та прасування, то в більшості випадків їх вплив виявився нейтральним і не суттєвим.

Таблиця 1

**Вплив виду рослинного барвника і виду протравлювача на стійкість пофарбувань
вовняних платтяних тканин до дії різних фізико-хімічних чинників**

1	Назва рослинного барвника і протравлювача	Загальний колірний контраст (од. ΔE) від зміни стійкості пофарбувань після дії:			
		100 год сонячного опромінення	10 прань	10 хімічних чисток	25 с прасувань
2	3	4	5	6	
1	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави гірчака перцевого без протравлювання	4,2	7,3	1,8	2,1
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	2,4	8,7	2,4	2,1
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	4,1	4,1	0,3	2,0
	Те ж, $CuSO_4$	2,1	4,4	2,0	2,5
	Те ж, $FeSO_4$	-1,1	8,3	1,3	2,2
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	0,4	7,1	1,2	2,6
2	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави кермеку Гмеліна без протравлювання	3,7	10,3	2,4	1,2
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	3,6	11,3	2,6	2,0
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	4,9	11,6	1,6	1,6
	Те ж, $CuSO_4$	3,9	11,9	2,8	1,8
	Те ж, $FeSO_4$	2,1	4,9	1,4	1,9
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	4,8	7,9	1,3	1,9
3	Тканина пофарбована екстрактом сухих ягід глоду без протравлювання	2,5	6,7	1,4	2,4
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	1,7	8,3	0,6	2,3
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	3,7	10,5	0,7	1,5
	Те ж, $CuSO_4$	2,6	9,6	4,7	1,6
	Те ж, $FeSO_4$	12,9	8,4	4,5	2,3
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	2,4	8,9	1,3	1,5
4	Тканина пофарбована екстрактом кори черемхи без протравлювання	3,5	11,5	2,3	1,3
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	5,8	6,8	2,8	2,2
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	5,1	7,2	1,9	2,0
	Те ж, $CuSO_4$	1,3	12,6	2,9	1,8
	Те ж, $FeSO_4$	9,5	8,1	1,6	1,9
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	5,2	11,9	1,9	1,8
5	Тканина пофарбована екстрактом листіків черемхи без протравлювання	1,5	6,5	1,6	2,4
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	6,1	7,8	0,8	2,3
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	3,3	10,3	0,9	1,4
	Те ж, $CuSO_4$	0,9	9,4	4,7	1,6
	Те ж, $FeSO_4$	11,7	8,3	4,2	1,7
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	13,9	10,1	4,5	2,0

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
6	Тканина пофарбована екстрактом кореня ревеню без протравлювання	12,4	10,6	2,3	1,8
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	11,9	7,2	2,6	1,8
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	3,9	12,3	1,7	1,7
	Те ж, $CuSO_4$	6,1	8,0	2,9	1,9
	Те ж, $FeSO_4$	8,4	11,1	1,8	2,0
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	4,7	6,0	1,9	2,2

2. Порівняльна характеристика стійкості пофарбувань на шовкових тканинах

Таблиця 2

Вплив виду рослинного барвника і виду протравлювача на стійкість пофарбувань шовкових платтяних тканин до дії різних фізико-хімічних чинників

1	Назва рослинного барвника і протравлювача	Загальний колірний контраст (од. ΔE) від зміни стійкості пофарбувань після дії:			
		100 год сонячного опромінення	10 прань	10 хімічних чисток	25 с прасувань
1	2	3	4	5	6
1	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави гірчака перцевого без протравлювання	3,0	4,1	1,6	5,1
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	3,8	5,3	2,4	5,6
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	3,1	4,1	0,3	4,8
	Те ж, $CuSO_4$	1,0	2,3	1,3	5,0
	Те ж, $FeSO_4$	8,4	4,1	1,0	4,8
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3,2	3,6	0,8	5,3
2	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави кермека Гмеліна без протравлювання	4,7	4,9	2,1	4,6
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	4,2	4,8	2,3	4,6
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	4,1	4,9	1,2	4,9
	Те ж, $CuSO_4$	3,9	4,5	2,3	5,2
	Те ж, $FeSO_4$	2,4	3,8	1,1	4,3
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3,8	4,1	1,2	5,2
3	Тканина пофарбована екстрактом сухих ягід глоду без протравлювання	2,3	2,9	0,9	5,2
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	3,9	4,5	1,1	4,4
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	8,2	10,3	0,5	4,1
	Те ж, $CuSO_4$	1,4	3,1	3,1	4,2
	Те ж, $FeSO_4$	6,6	8,4	3,3	5,4
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3,9	5,2	1,1	5,2
4	Тканина пофарбована екстрактом кори черемхи без протравлювання	4,1	5,7	1,9	5,4
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	6,2	8,6	2,3	4,2
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	6,5	8,9	1,4	3,8
	Те ж, $CuSO_4$	1,9	3,3	2,4	4,1
	Те ж, $FeSO_4$	7,0	9,4	1,1	4,5
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	7,3	9,2	1,6	4,8

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6
5	Тканина пофарбована екстрактом листіків черемхи без протравлювання	1,7	3,5	1,2	4,8
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	5,1	6,7	0,6	4,5
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	5,3	6,9	0,7	4,4
	Те ж, $CuSO_4$	1,2	3,9	3,5	4,6
	Те ж, $FeSO_4$	2,9	4,4	3,7	4,8
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	5,5	6,2	3,9	4,7
6	Тканина пофарбована екстрактом кореня ревеню без протравлювання	12,9	13,1	1,9	5,4
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	10,5	11,5	2,3	5,1
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	2,5	3,9	1,4	4,7
	Те ж, $CuSO_4$	10,5	11,6	2,5	4,9
	Те ж, $FeSO_4$	5,5	7,8	2,3	4,9
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	4,9	6,1	2,4	5,2

Аналіз даних табл. 2 дозволяє зробити наступні узагальнюючі висновки:

- досліджувані фізико-хімічні чинники (сонячна радіація, прання, хімічне чищення та прасування) неоднозначно впливають на зміну стійкості пофарбувань шовкових і вовняних тканин, пофарбованих одними і тими ж рослинними барвниками;
- на відміну від вовняних тканин, стійкість пофарбувань рослинними барвниками на шовкових тканинах виявились більш стійкими до дії багаторазового прання та хімічного чищення і менш стійкими до дії прасування;
- обрані види протравлювачів проявляють селективний вплив на зміну стійкості пофарбувань шовкових, як і на вовняних тканинах, під дією обраних фізико-хімічних чинників і вимагають індивідуального підбору в залежності від виду рослинного барвника і виду субстрату;
- обрані види рослинних барвників виявились повністю придатними для фарбування платтяно-блузкових шовкових тканин;
- наведена в табл. 1–3 інформація може бути використана для цілеспрямованого регулювання заданої стійкості пофарбувань на досліджуваних тканинах в залежності від конкретних умов експлуатації виробів із цих тканин.

3. Порівняльна характеристика стійкості пофарбувань на капронових тканинах

Таблиця 3

Вплив виду рослинного барвника і виду протравлювача на стійкість пофарбувань капронових платтяних тканин до дії різних фізико-хімічних чинників

1	Назва рослинного барвника і протравлювача	Загальний колірний контраст (од. ΔE) від зміни стійкості пофарбувань після дії:			
		100 год сонячного опромінення	10 прань	10 хімічних чисток	25 с прасувань
1	2	3	4	5	6
1	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави гірчака перцевого без протравлювання	2,2	4,1	1,6	2,1
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	0,1	5,3	2,1	2,2
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	3,0	3,9	1,8	2,0
	Те ж, $CuSO_4$	3,7	4,7	2,0	2,3
	Те ж, $FeSO_4$	2,0	6,1	1,3	2,4
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	2,4	5,4	1,0	2,6

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6
2	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави кермека Гмеліна без протравлювання	3,5	8,4	2,3	2,1
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	5,9	10,8	2,8	2,1
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	3,5	8,6	1,3	1,9
	Те ж, $CuSO_4$	6,2	8,9	1,9	2,2
	Те ж, $FeSO_4$	2,3	4,5	1,4	2,3
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	5,3	6,8	1,7	2,4
3	Тканина пофарбована екстрактом сухих ягід глоду без протравлювання	6,2	6,5	1,2	2,3
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	4,4	5,9	0,8	2,1
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	6,1	6,8	0,9	1,3
	Те ж, $CuSO_4$	4,8	5,4	1,3	1,9
	Те ж, $FeSO_4$	5,0	6,1	1,4	2,3
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	2,4	7,6	1,5	2,5
4	Тканина пофарбована екстрактом кори черемхи без протравлювання	3,5	4,1	1,9	2,0
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	6,2	7,1	2,3	2,2
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	4,1	5,3	2,1	2,2
	Те ж, $CuSO_4$	9,4	10,0	2,6	2,4
	Те ж, $FeSO_4$	7,0	8,2	2,7	2,4
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	10,36	11,1	2,9	2,5
5	Тканина пофарбована екстрактом листіків черемхи без протравлювання	2,1	4,0	1,8	2,2
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	5,6	6,1	1,5	2,4
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	2,4	4,2	1,4	2,0
	Те ж, $CuSO_4$	1,5	3,5	1,2	2,1
	Те ж, $FeSO_4$	2,2	3,8	1,0	2,2
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	0,9	3,9	1,2	2,3
6	Тканина пофарбована екстрактом кореня ревеню без протравлювання	15,1	15,6	3,2	2,1
	Те ж, з одночасним протравлюванням: $KAl(SO_4)_2$	15,9	16,5	3,4	1,9
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	8,5	8,9	1,6	1,7
	Те ж, $CuSO_4$	17,3	16,8	1,7	1,8
	Те ж, $FeSO_4$	12,1	13,1	1,8	2,1
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	13,1	13,4	1,9	2,3

Аналіз даних табл. 3. дозволяє зробити наступні висновки:

- стійкість пофарбувань на капронових тканинах, пофарбованих обраними видами рослинних барвників, виявилась дещо нижчою (окрім гірчака перцевого) до дії сонячної радіації і значно вищою до дії прання і особливо хімічного чищення порівняно з пофарбуваннями на вовняних і шовкових тканинах;

- більш низьку світлостійкість пофарбувань на капронових тканинах порівняно з вовняними та шовковими тканинами слід пояснити в основному за рахунок значно меншої насиченості пофарбувань на капронових тканинах і відповідно більш високою їх чутливістю до дії сонячної радіації [1].

Таким чином, різницю у показниках стійкості пофарбувань вовняних, шовкових і капронових тканин, пофарбованих одними і тими ж рослинними барвниками до дії сонячної радіації, прання, хімічного чищення та прасування слід пояснити декількома причинами, а саме:

- різницею у хімічній будові обраних видів рослинних барвників і протравлювачів [2];
 - різницею надмолекулярної будови вовняних волокон шовкових і капронових ниток, а також деяких параметрів будови самих тканин (лінійної густини, пряді і ниток, щільності, поверхневої щільності та іншими);

- різною чутливістю рослинних барвників, протравлювачів і субстрату тканин до дії сонячної радіації, прання, хімічного чищення та прасування.

Окрім цього, при обґрунтуванні сфери застосування досліджуваних тканин слід враховувати не тільки колірну гаму їх пофарбувань [1], вплив різних видів рослинних барвників і протравлювачів на довговічність субстрату [8], а основне призначення цих барвників – забезпечити необхідну екологічну безпечність технології фарбування цими барвниками замість токсичних марок синтетичних барвників і екологічну безпечність і відповідно конкурентоспроможність готових виробів із названих видів тканин. Саме ці чинники гарантують популярність і успіх пофарбованих рослинними барвниками одягових тканин на вітчизняному та зарубіжних ринків.

Загальні висновки

1. Обґрунтована доцільність використання у практиці текстильного виробництва наступних видів екстрактів рослинних барвників: із трави гірчака перцевого та кермеку Гмеліна, із сухих ягід глоду, із листків і кори черемхи та коренів ревеню. При цьому для вибору найбільш раціональної сфери використання цих барвників повинні використовуватись не тільки показники колірної гами пофарбувань, але й їх стійкості до дії різних фізико-хімічних чинників.

2. Встановлено, що обрані види протравлювачів можуть сенсифікувати, інгібувати або бути нейтральними до процесу знебарвлення досліджуваних пофарбувань. Показано, що найбільш вдалим є таке поєднання при фарбуванні і протравлюванні досліджуваних тканин рослинного барвника і протравлювача, коли протравлювач виступає інгібітором знебарвлення рослинного барвника і гарантує більш ефективне використання потенційних ресурсів як барвника, так і субстрату.

3. Запропоновано алгоритм формування заданої стійкості пофарбувань рослинними барвниками на вовняних, шовкових і капронових платтяних тканинах до дії різних фізико-хімічних чинників (сонячної радіації, прання, хімічного чищення та прасування) шляхом індивідуального підбору виду рослинного барвника, виду протравлювача та виду субстрату. Реалізація даного алгоритму у практиці роботи вітчизняних текстильних підприємств дозволить не тільки збагатити та розширити колірну гаму пофарбувань, екологізувати технологію фарбування і асортимент досліджуваних тканин але й підвищити їх конкурентоспроможність на вітчизняному і зарубіжних ринків.

Література

1. Гушак О.М. Оцінка ролі рослинних барвників у формуванні асортименту та якості екологічнобезпечного текстилю / О.М. Гушак, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету (Технічні науки). – Хмельницький : Вид-во Хмельницький національний університет, 2015. – № 5. – С. 164–172.
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. 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.
4. Пушкар Г.О. Інтер'єрний текстиль: товарознавчі аспекти формування асортименту та якості : монографія / Г.О. Пушкар. – Львів : Магнолія-2006, 2013. – 176 с.
5. Гушак О.М. Вплив рослинних барвників на формування екологічної безпеки текстильних матеріалів / О.М. Гушак // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча. – 2015. – Випуск 15. – С. 54–59.
6. Пахолок Е.В. Исследование стойкости окрасок льняных плательно-сорочечных тканей к действию многократных стирок / Е.В. Пахолок, Б.Д. Семак, О.И. Передрий, О.И. Тольдюк // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2015. – № 3(357). – С. 78–82.
7. Семак Б.Б. Комплексна оцінка якості вовняних тканин, пофарбованих екстрактом багна звичайного / Б.Б. Семак, З.М. Семак, О.М. Гушак, М.Н. Коваль // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2002. – № 6. – С. 91–96.
8. Гушак О.М. Використання рослинних барвників для світлостабілізації шовкових і капронових платтяних тканин / О.М. Гушак, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету (Технічні науки) – Хмельницький : Вид-во Хмельницький національний університет, 2015. – № 6. – С. 119–126.

Рецензія/Peer review : 3.2.2016 р. Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХРОМЗБЕРЕЖНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДУБЛЕННЯ ШКІР

Стаття присвячена розробці технологічних параметрів процесу дублення шкір зі зменшеними витратами сполук хрому шляхом застосування нових дубильних матеріалів на основі модифікованої дисперсії монтморилоніту. Застосування модифікованих дисперсій монтморилоніту для дублення сприяє підвищенню якості готових шкір, зменшенню навантаження на навколишнє середовище та скороченню витрат хромового дубителя.

Ключові слова: дублення, дисперсія, модифікація, монтморилоніт, хромовий дубитель, алюмосилікат, виробництво шкір.

M.O. MARUKHLENKO, O.R. MOKROUSOVA, O.A. OKHMAT

Kiev National University of Technologies and Design

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CHROMIUM-SAVING TANNING FOR LEATHER

Abstract - The article is dedicated to developing technological parameters of tanning leathers with reduced expenses of chromium compounds, through the use of new tanning material, based on modified montmorillonite dispersion. The montmorillonite modification was performed with sequential processing of aqueous dispersion of the mineral sodium carbonate and basic chromium sulfate. To investigate the tanning process, using modified montmorillonite dispersion the research groups of samples and control were formed. Tanning pelts prototypes were performed with modified montmorillonite dispersion with different content of chromium oxide. The analysis of the samples after tanning showed that the optimal amount of chromium compounds for tanning is Cr₂O₃ 1,0-1,25 % and 2,0-2,5 % of the modified dispersion from weight of pelts. The processing of pelts at the optimal amount contributes to receiving a soft leather with hydrothermal stability at 105 °C, increased by 6-7 % yield area, high physical and mechanical performance, reduced rigidity, resistance to wet leather. The use of modified montmorillonite dispersions for tanning improves the quality of finished leather, reduce the burden on the environment and reduce of the chromium tanning agents.

Keywords: the tanning, dispersion, modification, montmorillonite, chrome tanning agents, aluminium silicate, production of leather.

Вступ

Шкіра є одним із найбільш функціональних матеріалів для виготовлення найрізноманітніших виробів. Враховуючи, що на сьогоднішній день є велика потреба у шкірах для верху взуття, шкіряна промисловість приділяє достатню увагу виробництву шкір даного цільового призначення. Для верху взуття використовують широкий асортимент шкір із різної сировини, різних методів дублення та способів обробки лицьової поверхні. В Україні найбільшу частку становлять шкіри виготовлені із шкур великої рогатої худоби (ВРХ), а у виробництві найчастіше застосовують хромовий метод дублення (частка становить 80-90 % від загального обсягу виробництва) [1]. Це пов'язано з можливістю досягнення необхідних хімічних та фізико-механічних показників якості готових шкір, однак застосування хромових сполук в технологіях виробництва шкір має негативний вплив на навколишнє середовище. В зв'язку з цим шкіряна промисловість останніми роками приділяє багато уваги удосконаленню хромового методу дублення та вирішенню проблем очищення стічних вод, утилізації та повторного використання твердих хромвмістних відходів.

Повністю замінити сполуки хрому дубителями іншої природи в промисловості поки не вдається через неможливість отримання шкір належного рівня функціональних властивостей. Тому в даний час все більшої актуальності набувають дослідження з частковою заміною сполук хрому дубильними сполуками іншої природи, що мають дубильні властивості [2, 3]. Така заміна може бути здійснена поєднанням сполук хрому з іншими неорганічними дубильними речовинами або комбіноване дублення з органічними дубителями [4].

За останні роки перспективним напрямком є виробництво шкіри з використання для дублення високодисперсних мінералів природного походження, в тому числі, монтморилоніту [2, 5], що сприяє скороченню витрат сполук хрому, під час дублення з подальшим зменшенням їх кількості в стічних водах, оскільки за традиційною технологією дублення близько 40 % хромових сполук залишаються у відпрацьованих робочих рідинах. Тому дуже актуальним також є напрям розробки та застосування модифікованих дисперсій монтморилоніту (МДМ) в технологічних процесах виготовлення шкір з метою зменшення витрат хромового дубителя, вирішення екологічних проблем та питань ресурсозбереження.

Постановка завдання дослідження

Враховуючи сучасні наукові дослідження, що направлені на розширення асортименту хімічних матеріалів для шкіряного виробництва та підвищення його екологічності [1-7], виявлена доцільність використання для дублення шкір композицій на основі МДМ [2, 5, 6]. Позитивним є використання дисперсій монтморилоніту для додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату у поєднанні з акриловими наповнювачами, що призводить до зменшення витрат рослинних дубителів та синтанів, покращує

ефективність формування структури дерми та фізико-механічних показників готових шкір [7].

Також відомо ефективний спосіб дублення голини на відпрацьованій пікельній рідині в два прийоми з використанням хромового дубителя та алюмосилікату [8]. Згідно способу спочатку в пікельний розчин для обробки голини додають 0,35 % хромового дубителя від маси голини в перерахунку на Cr_2O_3 та дубильні сполуки алюмінію в кількості 0,15–0,20 % Al_2O_3 від маси голини. Через 2 години від початку дублення в робочу рідину вводять 0,2–0,4 % алюмосилікату від маси голини та 0,1–0,15 % карбонату натрію для підвищення основності сполук хрому. Після стругання напівфабрикату проводять другу стадію дублення з витратами хромового дубителя 1,55 % Cr_2O_3 від маси струганого напівфабрикату, а ще через 2 години в робочу рідину вводять карбонат натрію у кількості 1,2 % та алюмосилікат в кількості 1,15–1,25 % від маси напівфабрикату. Такий спосіб дублення дозволяє скоротити витрату хрому та отримати шкіряні відходи з меншим вмістом сполук хрому, однак слід вказати на складність виконання, багатостадійність введення різних матеріалів та використання дубильних сполук алюмінію.

Попередніми дослідженнями колоїдно-хімічних властивостей дисперсій МДМ, як алюмосилікату, показано, що модифікація дисперсій монтморилоніту сполуками хрому змінює заряд поверхні частинок мінералу, зменшує розмірність частинок та в'язкість дисперсії [9]. При цьому адсорбція сполук хрому на поверхні мінеральних частинок є стійкою до зміни рН середовища. Відповідно до технологічних процесів виробництва шкіри зазначені колоїдно-хімічні властивості модифікованих дисперсій монтморилоніту сприяють ефективній дифузії частинок в структуру дерми, рівномірному їх розподіленню, взаємодії з активними центрами колагену і, в цілому, ефективному процесу дубленням голини. В даному випадку характерним є зміна умов виконання технологічних операцій, що призводить до прискорення процесу виробництва та покращення якості готових шкір [2].

Відомі розробки формування структури шкіри шляхом часткової заміни хромового дубителя за рахунок застосування МДМ, що дозволяє зменшити використання хромового дубителя та забезпечує вирішення екологічних питань [2, 10]. Однак недостатньо вивченим є питання оптимальних параметрів технологічного процесу хромового дублення шкір з використанням МДМ. В зв'язку з цим є актуальним встановлення оптимальних параметрів хромощадної технології дублення шкір з використанням МДМ.

Об'єкти та методи дослідження

Метою дослідження є розробка оптимальних технологічних параметрів процесу хромового дублення шкір з використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту.

Об'єкт дослідження – технологічні параметри процесу хромового дублення шкір з використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту.

Предмет дослідження – властивості шкір, отриманих з використанням для дублення модифікованих дисперсій монтморилоніту.

Для досліджень та розробки оптимальних технологічних параметрів хромозбережного процесу дублення голини з використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту було сформовано з пікельованої голини ВРХ методом асиметричної бахтарми 6 груп по 8 зразків в кожній розміром 5×15 см. Групи зразків 1 – 5 вважали дослідними, 6 група була контрольна. Обробку зразків всіх груп здійснювали за традиційною технологією дублення, що є діючою на ПАТ «Чинбар» (м. Київ) [11]. Для цього у відпрацьованій пікельній рідині для обробки голини додавали хромовий дубитель (основність 38–40 %) в перерахунку на Cr_2O_3 від маси голини з витратами відповідно груп обробки (табл. 1). Для дослідних груп через 1 год обробки та після досягнення повного пофарбування голини дубителем (наскрізний зелений колір в найтовщій ділянці дерми) в робочу рідину вводили модифіковану дисперсію монтморилоніту згідно розроблених витрат (табл. 1). Через 3 години обертання (4 години для обробки недвоєної голини) для всіх груп здійснювали підвищення основності сполук хрому додаванням карбонату натрію у вигляді 10 % розчину у 3 прийоми з інтервалом 30 хвилин при безперервному обертанні барабану. Дублення завершували при досягненні значення рН робочої рідини на рівні 4,0–4,5 та отримання напівфабрикату стійкого до проби на «КІП».

Для дублення голини дослідних груп використовували модифіковану дисперсію монтморилоніту, яку отримували наступним шляхом: до реактору, що оснащений механічною мішалкою, вводили розрахункову кількість бентонітової глини з вмістом основного мінералу монтморилоніту 85 %, 3-кратну кількість води температурою 50–65°C та карбонат натрію з витратою 6,0 % від маси сухого монтморилоніту у вигляді 10-відсоткового розчину, далі при перемішуванні протягом 2 годин підтримували температуру на рівні 50–60 °C (рН дисперсії складала 7,0–7,5). Після отримання стійкої та рівномірної дисперсії монтморилоніту виконували катіонування поверхні частинок мінералу, для чого в дисперсію монтморилоніту вводили розчин основного сульфату хрому в кількості 10,0 % від маси мінералу в перерахунку на Cr_2O_3 . Перемішування продовжували ще 2 години до отримання однорідної маси сіро-голубого кольору. рН дисперсії складала 3,5–4,0. Крім того, загальні витрати хромового дубителя для дублення голини становили 1,2–1,5 % Cr_2O_3 від маси голини.

Детальні параметри процесу дублення та витрати хімічних матеріалів наведені в таблиці 1.

Після процесу дублення, всі зразки були прожировані, висушені у вільному стані, а після зволоження до вологості 26 % та обробки на тянульно-м'якшильній машині, досушені у вільному стані. Далі після кондиціонування та потрібних вимірювань виконували дослідження показників фізико-механічних та

хімічних властивостей готових шкір за відповідними методиками [12].

Таблиця 1

Параметри дублення

Витрати хімічних матеріалів	Варіанти обробок груп					Контроль
	1	2	3	4	5	
Хромовий дубитель, % Cr_2O_3	1,75	1,5	1,25	1,0	0,75	1,9
Модифікована дисперсія монтморилоніту, % *	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	–
Алюмосилікат натрію, %	–	–	–	–	–	1,6
Карбонат натрію, %	1,0	0,75	0,5	0,25	0,2	1,35

*в перерахунку на абсолютно суху речовину

Результати та їх обговорення

В результаті обробки голини модифікованими дисперсіями монтморилоніту на стадії дублення встановлено, що, порівняно з традиційною технологією, за всіма дослідними варіантами хромзбережні обробки сприяють отриманню зразків шкір з більшим виходом площі, меншою жорсткістю та здатністю до намокання у воді, з більш високими показниками адгезії покривної плівки до шкіри (табл. 2). Також спостерігається деяке зростання вмісту зв'язаних сполук хрому та показника гідротермічної стійкості шкіри (температури зварювання) (табл. 3). Фізико-механічні показники та показники хімічного складу отриманих шкір задовольняють вимоги стандарту [13]. Запропоновані параметри дублення шкір дають можливість отримати шкіру з добре сформованою структурою, м'яку, з більш ніжною, гладкою, шовковистою лицьовою поверхнею, без пухливатості. За рахунок підвищення виходу площі шкір порівняно з контролем на 6,7 % для зразків варіантів 4 та 5 досягається покращення ефективності використання сировини. При цьому слід вказати, що запропоновані хромзбережні способи дублення шкір сприяють зменшенню витрат сполук хрому для дублення, що обумовлює підвищення екологічності хромового дублення та раціональності використання хімічних матеріалів (табл. 2).

Таблиця 2

Фізичні та фізико-механічні показники якості готових шкір

Показники готових шкір	Варіант обробки					Контроль	ДСТУ 2726-94
	1	2	3	4	5		
Вихід площі шкіри, %	102,8	104,6	106,6	106,7	106,7	100,0	-
Уявна питома вага, г/см^3	0,652	0,642	0,634	0,632	0,637	0,678	-
Жорсткість на ПЖУ-12 М, 10^{-2} Н	29,8	28,7	25,2	24,6	27,7	38,6	-
Напруга при появі тріщин лицьової поверхні, 10МПа	1,86	1,97	2,06	2,12	1,98	1,62	>1,3
Видовження при нарузі 10МПа, %	32,4	32,2	29,8	31,8	30,2	33,6	20-40
Намокання, % :							
- через 2 години	47,5	46,2	41,8	43,5	45,9	49,8	-
- через 24 години	79,8	80	80,2	80,9	80,4	88,5	-

Найбільш ефективно проявляється вплив модифікованих дисперсій монтморилоніту під час дублення на показники межі міцності при розтягуванні шкір, видовження при нарузі та адгезію до сухої та мокрої шкіри (рис. 1). Для даних показників характерним є зростання їх рівня відповідно до контрольних зразків (значення показників контрольних зразків прийнято за 100 %). Для шкір варіантів обробки 3, 4 та 5 відбувається збільшення межі міцності при розтягуванні на 13–16 % порівняно з контролем, видовження при розриві – на 6–9 %, адгезія покривної плівки до сухої та мокрої шкіри – на 28–36 % та 40–47 % відповідно (рис. 1).

Аналіз показників зразків шкір варіантів обробки 1 та 2 (табл. 2, 3) вказує, що зі зменшенням витрат модифікованої дисперсії монтморилоніту до 1,0 % сухого мінералу від маси голини та підвищенням витрати хромового дубителя до 1,75 % Cr_2O_3 від маси голини не відбувається суттєвого покращення показників готових шкір. Збільшення площі шкір дослідних вказаних варіантів обробки не перевищує 2,8–4,6 % порівняно з контролем, температура зварювання збільшується не в значній мірі (зростання в межах 1 – 2 °С), при цьому суттєво покращуються фізико-механічні властивості.

Збільшення витрат модифікованої дисперсії монтморилоніту до рівня 3,0 % сухого мінералу (табл. 1) та зменшення витрат хромового дубителя до рівня 0,75 % Cr_2O_3 від маси голини, що характерно для варіанту обробки 5, не сприяє подальшому збільшенню виходу шкіри по площі, а також суттєвому покращенню інших кількісних і якісних показників шкір (табл. 2).

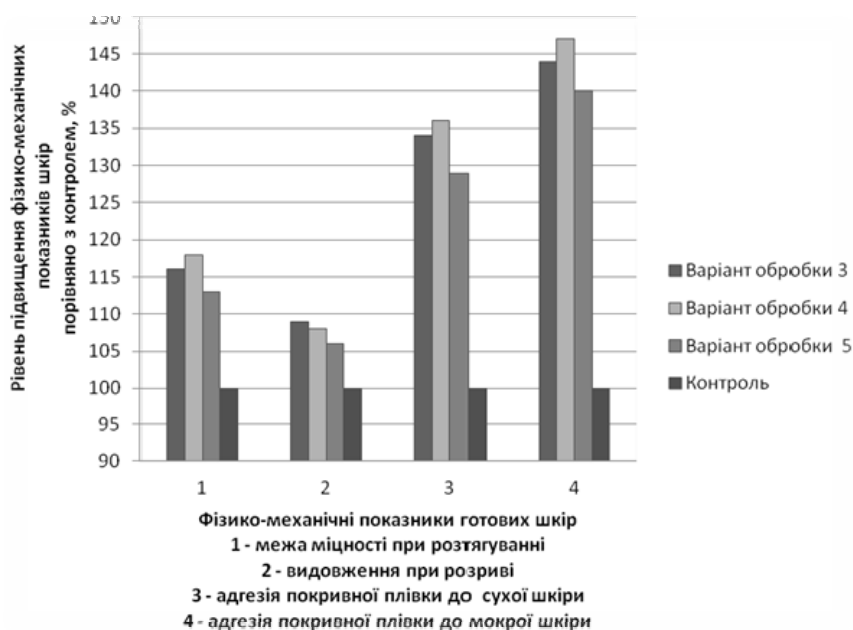


Рис. 1. Вплив МДМ на фізико-механічні показники готових шкір

Таблиця 3

Показники хімічного складу шкір

Показники готових шкір	Варіант обробки						ДСТУ 2726-94
	1	2	3	4	5	Контроль	
Вміст в шкірі, %							
- волога	12,0	12,0	12,0	12,1	12,0	11,3	10,0–16,0
- Cr ₂ O ₃ *	4,4	4,6	4,8	4,7	4,5	4,3	4,3
- мінеральних речовин*	6,6	6,6	6,4	6,4	6,5	7,2	–
- речовин, що екстрагуються органічними розчинниками*	7,2	7,4	8,0	8,1	8,5	6,4	3,7–10,0
Температура зварювання, °С	106	106	107	107	107	105	–

*-в перерахунку на абсолютно суху речовину

За результатами досліджень спостерігається зростання фізико-механічних показників шкір, зменшення жорсткості шкір, підвищення стійкості до намокання та гідротермічної стійкості (табл. 3). За даними хімічного аналізу підвищеним є вміст мінеральних речовин та вміст оксиду хрому. Останнє підтверджує більш ефективне відпрацювання робочих дубильних рідин та краще формування структури дерми порівняно з контролем.

Згідно аналізу представлених даних щодо показників якості готових шкір, оптимальними витратами хромового дубителя та модифікованої дисперсії монтморилоніту для дублення шкір можна вважати витрати 1,0–1,25 % Cr₂O₃ та 2,0–2,5 % сухого мінералу від маси голини (варіант обробки 3, 4). Дублення шкір за даними варіантами дозволяє отримати м'яку шкіру з підвищеним виходом за площею та фізико-механічними показниками.

В цілому, використання для дублення шкір модифікованої дисперсії монтморилоніту сприяє підвищенню ефективності використання сполук хрому, зменшенню їх витрат для дублення, якісному формуванню структури та об'єму дерми за рахунок фіксації та екранування її структурних елементів мінеральними частинками, покращенню якості готових шкір та екологічності при ресурсозбережному способі дублення.

Висновок

В роботі досліджено технологічні параметри ресурсозберігаючого способу дублення голини ВРХ з метою часткової заміни дубильних сполук хрому. Запропоновано використання для дублення голини модифікованої дисперсії монтморилоніту, отриманої послідовною модифікацією карбонатом натрію та основним сульфатом хрому. Встановлено оптимальні витрати сполук хрому для дублення на рівні 1,0–1,25 % Cr₂O₃ та 2,0–2,5 % модифікованої дисперсії монтморилоніту в перерахунку на сухий мінерал від маси голини. В результаті дублення голини за оптимальними витратами досягається отримання м'якої шкіри з підвищеним виходом за площею, зростання фізико-механічних показників, зменшення жорсткості, підвищення стійкості до намокання та гідротермічної стійкості шкір. Встановлено незначне підвищення вмісту мінеральних речовин та оксиду хрому в готових шкірах, що є результатом ефективного відпрацювання робочих дубильних рідин та формування структури дерми.

Література

1. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів : монографія / А.Г. Данилкович, І. М. Грищенко, В. І. Ліщук та ін. ; за ред. А. Г. Данилковича. — К. : Фенікс, 2012. — 344 с.
2. Паламар В. А. Застосування хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту для стабілізації колагенової структури дерми / В. А. Паламар, М. О. Марухленко, О. Р. Мокроусова // Східно-європейський журнал передових технологій. — 2015. — № 3. — С. 36–42.
3. Андреева О. А. Оптимізація процесу хромового дублення одягової шкіри з овчини з використанням полімерного матеріалу на основі малеїнової кислоти : монографія / Андреева О. А., Майстренко Л. А., Ніконова А. В. // Перспективні полімерні матеріали і технології / за заг. ред. В.П. Плавана. — К. : КНУТД. — 2015. — С. 319–323.
4. Плавана В. П. Вплив комбінованого дублення на перетворення структури колагену дерми / Плавана В. П., Данилкович А. Г. // Вісник КНУТД. — 2009. — № 2. — С. 58–64.
5. Mokrousova O. The organo-mineral composition for retanning –filling of leather semi-finished item / O. Mokrousova: Proceedings of the 3rd Internatioal conference on advanced materials and systems, (Bucharest, Romania, 16th–18th September 2010) / National R&D Institute for Textile & Leather, Division Leather & Footwear Research Institute. — Bucharest : ICPI, 2010. — P. 85–90.
6. Marukhlenko M. Stabilizing derma collagen structure with modified dispersions of montmorillonite / M. Marukhlenko, V. A. Palamar, O. R. Mokrousova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2016. — Vol. 111. — № 1. — P. 1–8. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/111/1/012023/meta>
7. Отрошко В. А. Вплив полімерно-мінеральної композиції та її складових та температуростійкість колагену / В. А. Отрошко, О. Р. Мокроусова, Н. В. Мережко // Вісник Хмельницького національного університету. — 2015. — № 1. — С. 225–232.
8. А. с. 1490163 СССР, кл. С14С3/06 / В. Ф. Сидорин, М. Л.-И. Дербаремдикер, А. В. Голубев, А. А. Горбачев, Р. Д. Люмкис, В. И. Харлашкин (СССР). — № 4679871/12 ; заявл. 18.04.89 ; опубл. 07.09.91, Бюл. № 33.
9. Марухленко М. О. Колоїдно-хімічні властивості модифікованих дисперсій монтморилоніту для дублення шкір / М. О. Марухленко, О. Р. Мокроусова // Вісник КНУТД. — 2015. — № 5(90). — С. 211–220.
10. Mokrousova O. Resources-saving Chromium Tanning of Leather with the Use of Modified Montmorillonite / Mokrousova O., Palamar V., Danylkovych A. // Romania, Revista de Chimie. — Vol. 66. — № 3. — P. 353–357.
11. ТМ-7.5-4 «Технологічна методика виробництва шкір різноманітного асортименту для верху взуття і підкладки взуття, галантерейних виробів із шкір великої рогатої худоби та кінських». — К. : ПАТ «Чинбар», 2009. — 11 с.
12. Данилкович А. Г. Практикум по химии и технологи кожи и меха / А. Г. Данилкович, В. И. Чурсин. — М. : ЦНИИКП, 2002. — 413 с.
13. ДСТУ 2726-94. Шкіра для верху взуття. Технічні умови / Чинний від 1996–01–01. — К. : Держспоживстандарт, 1995. — 14 с.

Рецензія/Peer review : 26.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., проф. Андреева О. А.

ВПЛИВ БАГАТОРАЗОВОГО ПРАННЯ ПЛАТТЯНО-КОСТЮМНИХ ТКАНИН НА ЇХ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

У статті наведено дослідження зміни розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин після дії багаторазового прання. Проаналізовано їх вплив на формостійкість та зносостійкість тканин та виробів. З'ясовано, що механізм зношування залежить від волокнистого складу матеріалу, його будови (структури), особливостей оброблення і чинників зношування.

Ключові слова: нитка еластан, зносостійкість, багаторазове прання.

U.B. BUCHKIVSKA
Lviv Commercial Academy

THE RESEARCH OF REPEATED WASHING OF DRESS AND SUIT FABRICS WITH ELASTANE THREADS

The changes of tearing characteristics of dress and suit fabric after exposure to repeated washing are investigated. Their influence on the shape stability and durability of fabrics and products is analyzed. It was found that the mechanism of wearing out depends on the fibrous composition of the material, its structure, processing peculiarities and factors of deterioration.

Keywords: shape stability, elastane thread, repeated washing

Вступ

Платтяно-костюмні тканини характеризуються дуже великою різноманітністю за волокнистим складом, особливостями будови та способами основного та заключного оброблення. Їх асортимент постійно змінюється під впливом моди за рахунок застосування нових видів волокон, розробки тканин нових структур і способів оброблення. Разом з тим, незалежно від гігієнічних властивостей, платтяно-костюмні тканини повинні характеризуватись необхідними механічними властивостями, гарантувати заданий термін експлуатації пошитих з них виробів, стабільність їх форми та розмірів при носінні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У процесі експлуатації швейних виробів платтяно-костюмні тканини піддаються складному комплексу механічних дій: постійним деформаціям розтягу, згину, кручення а також тертя у разі зіткнення з іншою поверхнею. Дослідження дії багаторазового прання є важливим при оцінюванні якості тканини, при обґрунтованому виборі її для виробів, при розробленні конструкції виробу та технологічного процесу його виготовлення. Сучасні уявлення про вплив багаторазового прання на властивості текстильних матеріалів висвітлені у багатьох працях вітчизняних та зарубіжних вчених, серед яких слід зазначити праці Б.Д. Семака, І.С. Галика, Л.В. Пелик, Б.А. Бузова, Н.П. Супрун та ін.

Платтяно-костюмні текстильні матеріали повинні характеризуватись необхідною зносостійкістю і формостійкістю, гарантувати заданий термін експлуатації пошитих з них виробів, стабільність їх форми та розмірів при носінні, мати високоякісне пофарбування. При цьому оптимізація асортименту платтяно-костюмних матеріалів, як і матеріалів іншого цільового призначення, має проводитися не тільки з урахуванням їх фізичної, а й соціальної довговічності, тобто з обов'язковим урахуванням термінів морального зношування виробів з цих матеріалів.

Постановка завдання

Метою роботи являлось дослідження дії багаторазового прання та їх вплив на зміну фізико-механічних властивостей платтяно-костюмних тканин.

Результати дослідження

Під зносостійкістю тканин розуміють їх здатність тривалий час протистояти дії комплексу руйнуючих зусиль, яким тканини піддаються в умовах експлуатації і внаслідок чого тканина зношується повністю або значно погіршує свої властивості і стає непридатною до подальшого використання.

Зносостійкість платтяно-костюмних тканин являється однією із найважливіших характеристик їх якості та довговічності. Механізм зношування – процес дуже складний, він залежить від волокнистого складу матеріалу, його будови (структури), особливостей оброблення і чинників зношування. При визначенні експлуатаційних властивостей платтяно-костюмних тканин особливу увагу заслуговує вплив прання, оскільки для тканин різного волокнистого складу можливе різне їх відношення до дії цього чинника. У зв'язку з цим актуальним є вивчення впливу багаторазового прання на зносостійкість тканин платтяно-костюмного призначення.

При пранні на тканини впливає ряд фізичних, фізико-механічних та механічних факторів, які в комплексі руйнують структуру матеріалів, погіршують їх фізичні властивості: при пранні – миючий розчин, механічні дії, підвищена температура; при сушінні – фактори світлопогоди; при прасуванні – підвищена температура гладильної поверхні. З метою визначення цих показників застосовано теоретичні та експериментальні методи текстильного матеріалознавства для визначення показників формостійкості тканин. Дослідження полягають у відтворенні умов прання та наступному визначенні показників формостійкості платтяно-костюмних тканин (жорсткості) та порівнянні їх з показниками контрольних зразків (до прання і після прання).

Проаналізувавши критерії зношування тканин платтяно-костюмного призначення, можна зробити висновок, що на їх зносостійкість найбільше впливає дія багаторазового прання, під час якого виробі зазнають впливу фізико-хімічних та механічних чинників. Деякі автори вважають, що під час прання 4/5

зношування припадає на механічні пошкодження матеріалів і лише 1/5 – на хімічні. Інші спостереження показали, що у тканин із целюлозних волокон під час перших циклів прання міцність не тільки не втрачається, але навіть дещо збільшується внаслідок зміни лінійних розмірів, що супроводжується підвищенням щільності. Під час наступних циклів прання ущільнення структури тканини зупиняється, а ступінь полімеризації целюлози знижується. Це призводить до зниження експлуатаційних властивостей виробів.

У роботах [2, 3, 5] зазначено, що зношування під дією вищенаведених чинників супроводжується відщепленням, відламуванням, деструкцією, випаданням із виробу дрібних частинок волокон чи ниток, порушенням зв'язків між структурними елементами тканини, руйнуванням матеріалу. На початкових стадіях зношування змінюється зовнішній вигляд текстильних матеріалів, що призводить до погіршення естетичних властивостей виробів. Внаслідок комплексної дії чинників зношування тканини тоншають, потім відбувається їх руйнування, що унеможливило подальше використання.

З урахуванням вищенаведених суперечливих даних щодо впливу дії багаторазового прання на зносостійкість тканин, виникає необхідність більш ретельного вивчення і дослідження чинників, що визначають довговічність виробів. Більш детально розглянемо механічний чинник, оскільки досліджувані тканини стають непридатними до експлуатації перш за все внаслідок втрати міцності. Саме зі зміною розривних характеристик тісно пов'язаний ступінь зношування платтяно-костюмних тканин під час прання. Тому аналіз впливу багаторазового прання на розривальне навантаження та розривальне видовження на момент розірвання – важливий етап у дослідженні тканин платтяно-костюмного призначення.

Слід зазначити, що порушення режиму волого-теплого оброблення, зокрема підвищення температури нагрівання й тривалість оброблення, зменшує формостійкість тканин.

У табл. 1 наведені результати досліджень розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин після 15-ти циклів прання (у чисельнику умовного дробу наведені дані за основою, а в знаменнику – за утком).

Таблиця 1

Зміна розривальних характеристик досліджуваних платтяно-костюмних тканин після процесу прання

Варіант зразка	Товщина, мм	Поверхнева / лінійна густина, г/м ² , г/м пог.	Розривальне навантаження, Н		Відносне розривальне навантаження, Н·м/г		Видовження на момент розірвання, %	
			вихідні дані	після 15 циклів прання	вихідні дані	після 15 циклів прання	вихідні дані	після 15 циклів прання
1	0,41	150	635 / 556	558 / 489	84,6 / 74,1	74,4 / 65,2	22 / 19	30 / 28
2	1,03	188	552 / 312	507 / 287	58,7 / 33,2	54,0 / 30,5	22 / 41	26 / 42
3	0,98	190	543 / 373	509 / 348	57,2 / 39,3	53,4 / 36,7	24 / 48	28 / 53
4	0,91	188	565 / 183	525 / 170	60,1 / 19,5	55,8 / 18,1	21 / 24	24 / 25
5	0,78	190	556 / 194	518 / 181	58,5 / 20,4	54,5 / 19,0	28 / 25	32 / 28
6	0,49	178	940 / 187	863 / 172	105,6 / 21,0	96,9 / 19,3	21 / 33	22 / 33
7	0,67	177	704 / 185	643 / 169	75,9 / 20,9	69,4 / 19,1	28 / 39	32 / 39
8	0,40	188	843 / 301	767 / 274	89,7 / 32,0	81,6 / 29,1	19 / 25	19 / 25
9	0,40	172	549 / 686	477 / 596	63,8 / 81,7	55,4 / 71,1	22 / 19	30 / 27
10	0,57	190	864 / 392	791 / 359	90,9 / 41,3	83,2 / 37,8	22 / 41	26 / 45

Аналіз таблиці 1 показує, що внаслідок прання різкого зниження розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин не спостерігається.

Найбільший спад показників розривального навантаження серед досліджуваних зразків тканин спостерігається у вар. 1 та вар. 9, у процесі дослідження вони знаходилися в межах від 86 % до 88 % порівняно з початковим значенням. Дані тенденції в змінах розривальних навантажень пояснюються особливостями будови вар. 1 та вар. 9, найменшою товщиною (0,41 та 0,40 мм відповідно) та відсутністю еластанових ниток.

Найменша різниця у показниках розривального навантаження порівняно з початковими є у вар. 3 – 509 Н за основою та 348 Н за утком, він втратив лише 6 % своєї міцності. Даний зразок містить еластанові волокна, характеризується найвищим показниками лінійної густини (190 г/м пог.), товщини (0,98 мм) та щільності (252 – за основою, 193 – за утком).

Аналіз зміни розривального навантаження досліджуваних платтяно-костюмних тканин свідчить про особливу роль оброблення на зразках, яке забезпечує менше руйнування в процесі їх старіння. Це є дуже важливим фактором, особливо для оцінки їх експлуатаційних властивостей. Так, досліджувані зразки, які піддавалися обробленню – термостабілізації (вар. 2–8 та вар. 10) характеризуються найменшими втратами розривального навантаження (до 9 %), так як цей вид оброблення забезпечує менше руйнування матеріалів у процесі їхнього зношування.

Аналіз табл. 1 свідчить, що величина видовження на момент розірвання платтяно-костюмних тканин залежить від видовження волокон. Також суттєву роль відіграють елементи будови та способи оброблення цих текстильних матеріалів. Зразки вар. 2–8 та 10, які містять еластанові волокна, пройшли оброблення - термофіксацію, що призвело до зменшення розтяжності тканини. У досліджуваних зразків вар. 6 та вар. 8 показники видовження на момент розірвання залишилися незмінними. У всіх інших досліджуваних зразках спостерігається незначне збільшення видовження на момент розірвання.

Досліджено, що у зразків тканин вар. 1 та вар. 9, які не містять еластанових волокон,

спостерігається збільшення видовження на момент розривання на 27–30 %, порівняно з вихідними даними.

Аналіз зміни показників жорсткості платтяно-костюмних тканин після 15 циклів прання дозволяє спрогнозувати формостійкість та довговічність досліджуваних платтяно-костюмних тканин та виробів з них. Результати дослідження представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика показників жорсткості та зміни лінійних розмірів платтяно-костюмних тканин після прання

Варіант зразка	Товщина, мм	Поверхнева / лінійна густина, г/м ² , г/м пог.	Щільність, кількість ниток на 10 см		Жорсткість, мкН·см ² ·10 ³		Коефіцієнт жорсткості, %	
			основа	уток	вихідні дані	після 15 циклів прання	вихідні дані	після 15 циклів прання
1	0,41	150	192	190	4,16 / 2,46	3,04 / 1,26	1,69	2,41
2	1,03	188	230	193	2,82 / 0,91	2,26 / 0,87	3,10	2,59
3	0,98	190	252	193	2,18 / 0,82	2,15 / 0,89	2,66	2,41
4	0,91	188	200	192	1,64 / 0,58	1,18 / 0,50	2,83	2,36
5	0,78	190	244	193	1,74 / 0,76	1,24 / 0,61	2,29	2,03
6	0,49	178	210	189	1,47 / 0,79	0,98 / 0,56	1,86	1,75
7	0,67	177	231	192	2,48 / 0,83	2,78 / 0,76	2,99	3,65
8	0,40	188	240	198	4,37 / 1,52	3,24 / 1,01	2,88	3,20
9	0,40	172	196	182	4,72 / 2,11	3,23 / 3,77	2,24	1,55
10	0,57	190	228	194	3,12 / 0,96	2,81 / 0,82	3,25	3,43

З табл. 2 випливає, що під дією прання відбувається незначне зниження жорсткості у досліджуваних зразках, які містять еластанові волокна. Як і всі механічні властивості, жорсткість платтяно-костюмних тканин залежить від їх волокнистого складу, будови, властивостей волокон та ниток, а також від будови та оброблення самого текстильного матеріалу.

Після аналізу отриманих даних, можна відзначити, що найбільшою вихідною жорсткістю із досліджуваних еластановмісних тканин характеризується зразок вар. 8, який становить $4,37 \cdot 10^3$ мкН·см² за основою та $1,52 \cdot 10^3$ мкН·см² за утком, а після 15-и циклів прання показник жорсткості зменшився і склав $3,24 \cdot 10^3$ мкН·см² за основою та $1,01 \cdot 10^3$ мкН·см² за утком.

Значний вплив на жорсткість мають вид переплетення, щільність та маса текстильних матеріалів. Переплетення платтяно-костюмних тканин є одним із важливих факторів, які впливають на жорсткість тканини. Із зменшенням довжини перекриття і збільшенням числа зв'язків між основними й утковими нитками жорсткість тканини збільшується. Так, зразок вар. 8 характеризується полотняним переплетенням і найвищою вихідною жорсткістю, яка становить $4,37 \cdot 10^3$ мкН·см².

Спеціальні види оброблення впливають на жорсткість платтяно-костюмних тканин. Тканини, які в процесі виготовлення піддавалися термостабілізації (вар. 2–8 та вар 10), після 15-и циклів прання характеризуються стабільністю значень. Отже, після аналізу отриманих даних, можна відзначити, що після 15-ти циклів прання показники жорсткості та розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин суттєво не змінилися.

Висновки

У результаті досліджень встановлено, що еластичні нитки докорінно змінюють, в першу чергу, функціональні властивості одягу, покращуючи, крім комфортності, такі принципово важливі показники, як драпірування, незминальність (більш ніж на порядок). При цьому, особливий вплив розтяжні тканини чинять на формувальні здібності матеріалів, так як істотно змінюють їх деформаційні характеристики. Минулі 50 років продемонстрували постійний рух від традиційних текстильних матеріалів до більш легких еластичних полотен. Серед наступних завдань – подальший розвиток нових структур еластичних полотен, у тому числі і різних поверхневих ефектів, більш комфортного одягу, для якого облягання і почуття зручності не будуть взаємовиключними поняттями.

Література

1. Пелик Л.В. Сучасні тенденції використання термостійких і високоеластичних текстильних волокон / Л.В. Пелик, У.Б. Гілета // Проблеми підвищення якості товарів народного споживання : матеріали всеукраїнського наукового семінару. – Луцьк : Луцький нац. технічний університет, 2012. – С. 21–24.
2. Болик Дж. Е. Лусга®: история развития / Дж. Е. Болик // Текстильная промышленность. – 2000. – № 4. – С. 37–39.
3. Pelyk L. New tendencies of using the modified polyamide and aramide of fibres and filaments / L. Pelyk, U. Gileta // Engineering and methodology of modern technology : monograph / edited by G. Paraska, J. Kowal. – Хмельницький : Вид-во ХНУ, 2012. – С. 60–66.

Рецензія/Peer review : 15.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., професор Пелик Л.В.

ЗАСТОСУВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ АДСОРБЕНТІВ У ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ, РОЗДІЛЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ГАЗОВИХ І РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ

Неодмінною умовою ефективності використання мінеральних сорбентів в тому чи іншому процесі є відповідність їх якості, висунутій для даного процесу. Якість природних сорбентів в загальному випадку визначається хімічним і мінеральним складом, природою поверхні, характером пористої структури, міцності та іншими властивостями. Виявлення нових родовищ природних адсорбентів та їх всебічне дослідження з метою технологічного застосування є актуальною проблемою великого народногосподарського призначення.

Ключові слова :адсорбція, активація, модифікація, питома поверхня, пористість.

A.Y. GANZYUK, S.A. KARVAN, G.M. DEICHUK

Khmelnytsky National University

APPLICATIONS OF MINERAL ADSORBENTS FOR CLEANING, CONDITIONING AND DIVISION ADSORPTION PROCESSES IN GAS AND LIQUID STATES

Natural adsorbents are used in the industry for cleaning and regeneration of liquids and improving the quality of fuels. In addition, they are used to illuminate fruit juices, wine and beer, oil refining, water treatment. The important characteristics relating to the applications of natural adsorbents are particle size and shape, surface chemistry, surface area, surface charge. Wide increasing of natural adsorbents can be explained by many factors. Having developed specific surface and bleaching properties, they are ten times cheaper than synthetic adsorbents. This explains the simple technology they use: stage regeneration is often excluded from the scheme. Identification of new deposits of natural adsorbents and their comprehensive research with the aim of technological applications is the urgent problem of great economic purpose. The effective exploration of adsorbent reserves of local importance for consumption in the area of production has been stimulating the implementation of new adsorption processes, including the issues of environmental protection.

Keywords: adsorption, activation, modification, surface area, porosity.

Адсорбційна техніка в різні періоди базувалася на застосуванні різноманітних матеріалів: вуглецевих адсорбентах, активованому вугіллі, природних мінеральних сорбентах, силікагелях, синтетичних цеолітах [1]. Серед мінералів, знайдених в земній корі, саме глинисті мають найширший інтерес через специфічні властивості, такі як пластичність, високу поглинаючу і каталітичну здатність [2, 3].

Роботами англійського фізико-хіміка Баррера та американського синтетика Брека були знайдені шляхи промислового отримання унікальних алюмосилікатних адсорбентів-цеолітів, що володіють не тільки високою вибірковістю адсорбції, але і здатністю розділяти речовини, використовуючи відмінності в розмірах і формі молекул. На основі патентів Баррера і Брека компанія Лінде (США) в 1955 р. почала в промисловому масштабі виготовляти синтетичні цеоліти загального призначення.

У 1959 р. при Академії Наук під головуванням М.М. Дубиніна була створена комісія з цеолітів. В результаті інтенсивної роботи ряду організацій, яка координувалась комісією, проблема синтезу і випуску цеолітів в промисловому масштабі в нашій країні була вирішена: з 1964 р. країна забезпечена цеолітами загального призначення. Підбором відповідного адсорбенту адсорбційному процесу може бути додана як вибірковість, так і універсальність. Універсальними є адсорбційні процеси, які використовуються при підготовці повітря до низькотемпературного розділення (компоненти, що видаляються – вода, діоксин карбону, ацетилен). Вище вказані адсорбційні процеси можна використати для очищення природного газу в машинобудуванні (вода, сульфід водню, діоксин карбону).

У переважній більшості адсорбційних процесів для регенерації адсорбенту до нього підводять тепло. Розроблені останнім часом установки коротко циклової без нагрівної адсорбції працюють без підведення тепла, завдяки чому інтенсивність їх значно вище інтенсивності звичайних установок з політропним режимом. За допомогою таких установок вирішують не тільки проблему видалення домішок (осушка), але і задачу концентрування суміші (виділення водню) і поділу її на компоненти (повітря - на азот і кисень). Установки цього типу легко піддаються автоматизації.

Період шістдесятих – вісімдесятих років нашого століття відрізняється швидкими темпами впровадження адсорбційної техніки в медицину. Розроблений в США метод очищення крові від шкідливих речовин, названий гемосорбцією, передбачав відбір крові з артерії пацієнта, пропускання її через невелику колонку зі спеціально приготовленим активованим вугіллем або іншим сорбентом і повернення в систему кровообігу пацієнта. Гемосорбцію широко використовують при гострих отруєннях барбітуратами, фосфорорганічними інсектицидами, хлорованими вуглеводнями. До таких сорбентів, висуваються підвищені вимоги, обумовлені контактом адсорбенту з кров'ю людини. Вони повинні володіти високою механічною міцністю, хімічною стійкістю, значною адсорбційною здатністю до видалення речовин; бути нетоксичними, стерильними, мінімально травмувати елементи крові.

Більшість розроблених адсорбційних процесів базуються на синтетичних адсорбентах. Тим часом, поверхня землі і, безумовно, дно океану містить величезний потенціал природних адсорбентів. Перспективи застосування природних адсорбентів в народному господарстві досить сприятливі.

Всі адсорбенти відповідно до розміру пор можна поділити на три граничних структурних класи:

макропористі, мезопористі і мікропористі.

Деякі макропористі адсорбенти застосовуються в хроматографії. До мезопористого адсорбенту належить велика кількість силікагелів, алюмогелів і алюмосилікатних каталізаторів, а також багато видів природних глин, що застосовуються для видалення відносно великих молекул з різних рідких середовищ (наприклад, при очищенні масел). Типовим представником мікропористих адсорбентів являються зневоднені кристалічні алюмосилікати – цеоліти і деякі типи активованого вугілля, зокрема саранове вугілля. Переважна більшість промислових адсорбентів, які застосовуються для очищення газів і рекуперації парів (активоване вугілля, силікагелі), містять широку гаму пор різного розміру і відносяться до змішаних структурних типів адсорбентів. Увагу спеціалістів все більше привертають природні сорбенти. Завдяки пористій структурі та високорозвиненій поверхні такі мінеральні сорбенти здатні селективно вилучати з водних розчинів різні речовини, а їхня не токсичність робить можливим використання цих реагентів для потреб різних галузей промисловості.

Найбільш оптимальним підходом до дослідження механізму адсорбції є вивчення таких важливих характеристик адсорбції як кінетика адсорбції, ізотерми адсорбції, ступінь адсорбції, вплив температури, природа взаємодії між адсорбатом і адсорбентом. Ізотерми адсорбції були класифіковані Гільсом. Різноманітні форми ізотерм адсорбції показані на рисунку 1, де на осі x зазначена концентрація, а y – показує кількість адсорбованої речовини.

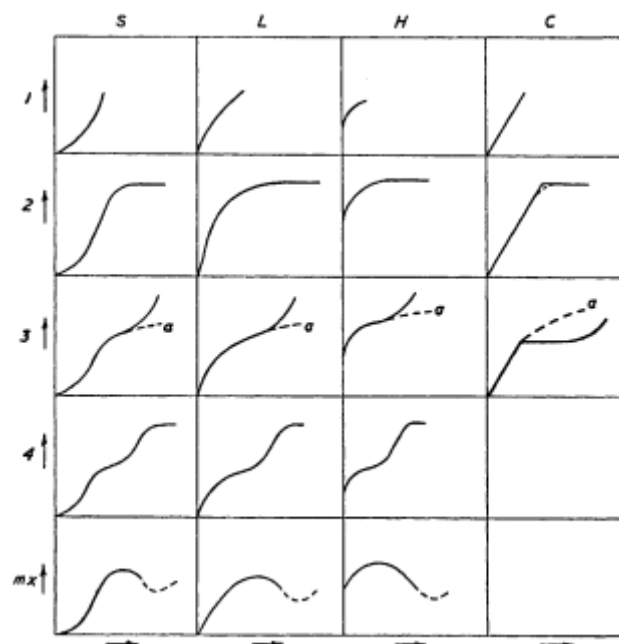


Рис. 1. Класифікація форм ізотерм адсорбції

Виходячи з форми початкової ділянки були виділені чотири характерних класи ізотерм, а поділ ізотерм на окремі типи всередині кожного з цих класів пов'язано з подальшою зміною їх форми при більш високих концентраціях.

Клас L (клас Ленгмюра) є найбільш загальним; на початковій ділянці ізотерми цього класу увігнуті щодо осі концентрацій. Ізотерми типу L2 досягають насичення, а подальша адсорбція вище цього рівня дає ізотерму типу L3. Якщо при подальшій адсорбції досягається друге плато, то ми маємо справу з ізотермою типу L4. Для ізотерм типу L5 характерна наявність максимуму, вони відображають стан речовини в розчині, адже в чистій системі максимум неможливий за термодинамічними причинами. Такого типу ізотерми отримують при вивченні адсорбції з розчинів ПАР і деяких барвників або ж розчинів сполук, що містять домішки високоактивних ПАР, тобто таких сполуки яких знаходяться в розчині у вигляді асоціатів. Подібний повний набір типів ізотерм отримано і для інших класів. Початкова ділянка ізотерм S класу вигнута щодо осі концентрації, проте далі розташована точка згину, що і надає ізотермі характерну S-подібну форму. Ізотерми класу H (висока спорідненість) спостерігаються при надзвичайно сильній адсорбції і дуже низьких концентраціях; вони перетинаються з віссю ординат. Ізотерми класу C мають початкову лінійну ділянку, що вказує на постійне розподілення розчиненої речовини між розчином і адсорбентом. Дані ізотерми зазвичай отримують при адсорбції на мікропористих адсорбентах [4].

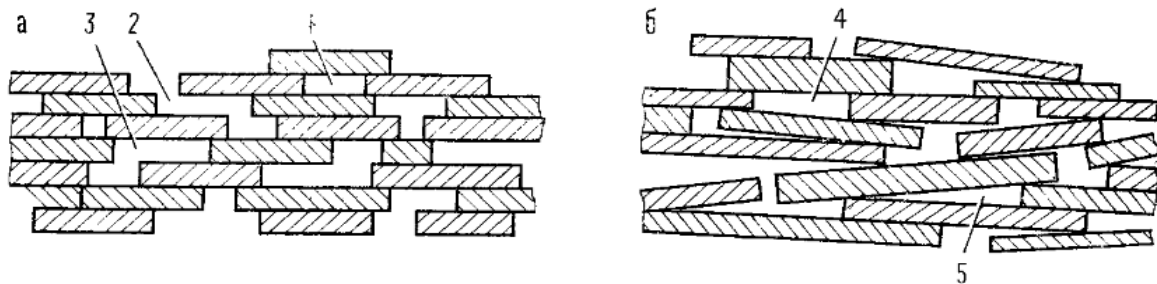
Серед адсорбентів значне місце займають глинисті мінерали, до складу яких зазвичай входять мінерали з регулярною структурою. Унікальність природних глинистих мінералів полягає не лише у високій ефективності та селективності сорбційних процесів, а й у широких можливостях проведення хімічного та структурного модифікування з метою зміни їх властивостей з необхідними заданими параметрами. Глинисті мінерали за класифікацією Тарасевича [5] можна розбити на три основні групи. Шаруваті мінерали з решіткою, яка розширюється: основними представниками цієї групи є монтморилоніт і вермикуліт. Вони

відносяться до дрібнопористих сорбентів. Їх структура має, за аналогією з гранульованими цеолітами, первинну і вторинну пористості. Первинна пористість обумовлена кристалічною будовою мінералів, вторинні пори утворені зазорами між контактуючими частинками. При адсорбції полярних речовин решітка первинних пор розширюється, і в міжпакетний простір вбудовується один або кілька шарів адсорбата. Питома поверхня первинних пор досягає 420–470 м²/г. Азот і вуглеводні цими порами практично не сорбуються. Переважно радіус вторинних пор складає 5–10 нм, їх питома поверхня не перевищує 60 м²/г.

Шарувато-стрічкові мінерали: типовими представниками їх є палигорськіт і сепіоліт. Первинні пори шарувато-стрічкової групи представлені цеолітними каналами 0,37X0,64 та 0,56X1,1 нм відповідно. У ці канали проникають молекули води, метанолу, аміаку, але не вуглеводнів. Поверхня вторинних пор цих мінералів досить добре розвинена, у зв'язку з чим адсорбенти активно поглинають високомолекулярні речовини, зокрема, вуглеводні.

Шаруваті мінерали з жорсткою решіткою: основними представниками їх є тальк, пірофіліт, гідролюда, каолініт. Пористість цих мінералів обумовлена зазорами між контактуючими частинками, мікропори відсутні, питома поверхня не перевищує 150 м²/г. Плоскі частинки шаруватих мінералів з жорсткою решіткою укладаються переважно базисними площинами один до одного, тобто в основному орієнтовано. На рисунку 2 зображена ідеалізована схема розташування частинок і утворення пор між частинками в таких системах [6]. Представлена схема знаходиться у відповідності з широким набором пор різних розмірів, виявлених у глухівського каолініту [7].

У побуті під терміном "глина" розуміють землястий матеріал з розміром часток не вище 2 мкм і високим вмістом глинистих мінералів, який здатний давати пастоподібні маси різної консистенції. Залежно від переважаючого мінералу, конкретну глинисту породу відносять до того чи іншого типу. Так, монтморилоніт є основним мінералом бентонітових глин та відбілюючих земель (гумбрин, асканіт). Окрему групу природних глин складають кремнеземисті породи – діатоміти, трепел, опоки.



1 – замкнуті пори; 2 – лабіринтоподібні пори; 3 – пори, утворені пластинками суміжних шарів; 4 – тупоклиновидні пори; 5 – гостроклиновидні пори

Рис. 2. Пориста структура шаруватих мінералів з жорсткою структурою, що складаються з частинок однакової (а) і різної (б) товщини

Глинисті матеріали як адсорбенти застосовують в основному для очищення різних рідких середовищ від домішок. Як правило, очищення рідких середовищ супроводжується видаленням забарвлених речовин, в результаті чого продукт знебарвлюється. Звідси виникла назва "відбілююча земля", хоча в деяких сучасних процесах застосування цих адсорбентів пов'язано з видаленням безбарвних речовин.

Частина глинистих природних адсорбентів володіє високою активністю в природному вигляді та їх підготовка до використання в промисловості полягає лише в термічній обробці. До цієї групи відносяться Фаулерові землі і флоридини, гумбрини і нальчікіни. Інша частина глинистих порід (бентоніти) набувають високі адсорбційні властивості після хімічної активації, трепели і опоки активації практично не піддаються, тому перед застосуванням їх лише прокалюють для видалення адсорбційної вологи. Структурна характеристика основних глинистих мінералів наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика глинистих мінералів

Мінерал	Питома поверхня (в м ² /г), розрахована по адсорбції		Сумарний адсорбційний об'єм, V _Σ , см ³ /г	Структура пор				
	N ₂	n-C ₆ H ₁₄		Мезопори			Мікропори	
				V _{ME} , см ³ /г	S _{ME} , м ² /г	R _{ME} , 10 нм	V _{MI} , см ³ /г	R _{MI} , нм
Монтморилоніт пижевський	39	36	0,37	0,05	39	45	0,32	0,48
Вермикуліт ковдорський	12	14	0,18	0,03	12	90	0,15	0,28
Палигорськіт черкаський	224	153	0,45	0,29	153	80	0,16	0,50
Каолініт глухівський	70	69	0,17	0,17	80	40	-	-

Природні глинисті мінерали є полімінеральними високодисперсними системами із хімічним складом, що коливається в широких межах. Склад відбілюючих глин: 40–72 % SiO₂, від 5 до 33 % Al₂O₃, від 1,2 до 15 % Fe₂O₃, до 7 % CaO до 8 % MgO, від 4 до 15 % оксидів лужних та інших металів, а також вода. Склад діатомітових земель, трепелів, опок: від 75 до 90 % SiO₂, від 1,5 до 9 % Al₂O₃, решта оксиди Fe, Ca, Mg, K та інших металів, а також вода.

Адсорбційні та відбілюючі властивості природних адсорбентів і оптимальні умови їх термічної або хімічної активації визначаються на основі дослідження комплексу фізико-хімічних і адсорбційно-структурних властивостей. Кінцевим етапом лабораторних досліджень є встановлення придатності адсорбентів для конкретного технологічного процесу.

Найбільш поширеним видом активації природних глин є їх обробка мінеральними кислотами. Найчастіше застосовують 20% сульфатну та хлоридну кислоти. У результаті кислотної обробки повністю або частково видаляються оксиди кальцію, магнію, заліза, алюмінію, інших металів. Одночасно з цим при хімічній обробці підвищується кислотність глин, відбувається утворення додаткових пор, збільшується питома поверхня і об'єм пор. Питома поверхня глин, за літературними даними, коливається від 20 до 400 м²/г, але може досягати 500 м²/г, середній ефективний радіус пор змінюється від 3 до 100 нм [8]. Модифікування поверхні і структури глин може бути досягнуто в результаті обробки не тільки кислотами, а й іншими реагентами [9, 10].

За спостереженнями Батталової відбілююча здатність активованих глин тим вище, чим більша катіонообмінна ємність вихідної глини. Висока відбілююча здатність активованих монтморилонітових глин пов'язана з наявністю в них монтморилоніту, що характеризується кислими властивостями, тобто містить в обмінному положенні іони H⁺ і Al³⁺. Видалення азоту і кисневмісних сполук відбувається внаслідок хемосорбції на кислотних центрах поверхні адсорбенту.

Заміна катіонів, що входять до складу монтморилоніту, на катіони великих розмірів призводить до «розкриття» міжшарового простору, який стає доступним для молекул вуглеводнів. Так, введення катіонів K⁺, NH₄⁺, Rb⁺ в решітку монтморилоніту збільшує адсорбційну ємність цього мінералу по *n*-гексану в 1,5 разу, а Cs⁺ – в 4,5 разу.

Природні адсорбенти застосовують в нафтопереробній промисловості для очищення і регенерації мастил, трансформаторних та інших спеціальних масел, для тонкої очистки та підвищення якості рідких палив. Крім того, їх використовують для освітлення фруктових соків, вин і пива, рафінування рослинних олій, очищення води. Широке і неухильне збільшення масштабів застосування природних адсорбентів обумовлено тим, що, володіючи розвинутою питоною поверхнею і специфічними властивостями, вони в десятки разів дешевше штучних адсорбентів [11]. У зв'язку з цим спрощується технологія їх застосування: зі схеми часто виключають стадію регенерації.

Висновки. Виявлення нових родовищ природних адсорбентів та їх всебічне дослідження з метою технологічного застосування є актуальною проблемою великого народногосподарського призначення. Поряд з пошуком родовищ великих промислових масштабів, представляє безперечний інтерес розвідка ефективних адсорбентів із запасами місцевого значення, для споживання їх в районі видобутку, що стимулює впровадження нових адсорбційних технологічних процесів, у тому числі для вирішення питань захисту навколишнього середовища.

Література

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники / Н.В. Кельцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1984. – 592 с.
2. Murray H.H., Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. Applied clay science. – 2000 – V. 17 – P. 207–221.
3. Murray H.H., Applied clay mineralogy: occurrences, processing and applications of kaolins, bentonites, palygorskitesepiolite, and common clays. Elsevier. –2006. –179 p.
4. Парфит Г. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел / Г. Парфита, К. Рочестера ; пер. с англ. – М. : Мир, 1986. – 488 с.
5. Тарасевич Ю.И. Адсорбция на глинистых минералах / Ю.И. Тарасевич, Ф.Д. Овчаренко. – К. : Наук. думка, 1975. – 352 с.
6. Хим. и технология топлив и масел. / В.И. Юзефович и др. – 1972. – № 1. – С. 59–61.
7. Wilson M. Rock-Forming Minerals, Sheet Silicates: Clay Minerals / Wilson M., Deer W., Howie R., Zussman J. // Geological Society, London. – 2013. – V. 3. – 736 p.
8. Brigatti M. Structures and mineralogy of clay minerals. Handbook of clay science / Brigatti M., Galan E., Theng B. // Elsevier. – 2006. – P. 19–69.
9. Гузенко Н.В. Адсорбционное модифицирование высокодисперсного кремнезёма поливинилпирролидоном / Гузенко Н.В., Пахлов Е.М., Липковская Н.А., Воронин Е.Ф. // Журн. прикл. химии. – 2001. – Т. 74, № 12. – С. 1957–1961.
10. Українські дисперсні мінерали в процесах очищення стічних вод : збірник матеріалів II-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю / В. В. Співак, М. М. Бабчук, І.М. Астрелін, О. Ф. Алексєєв – К. : Україна, 2011.

Д.Г. САРИБЕКОВА
Херсонський національний технічний університет
В.Ю. КУНИЦЬКИЙ
Львівська комерційна академія

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕЛАСТАНОВИХ НИТОК НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті розглянуто сучасні напрямки розвитку текстильних матеріалів на основі еластанових ниток. Проаналізовано їх вплив на формостійкість та довговічність текстильних матеріалів та готових виробів. З'ясовано, що еластанова нитка докорінно змінює, в першу чергу, функціональні властивості одягу, поліпшуючи, крім комфортності, такі принципово важливі показники, як драпірувальність, незминальність.

Ключові слова: еластанова нитка, лайкра, дорластан.

D.G. SARIBYEKOVA
Kherson National Technical University
V.U. KUNITSKY
Lviv Commercial Academy

ANALYSIS OF INFLUENCE ELASTAN THREADS AT SHAPE STABILITY OF TEXTILE MATERIALS

The article examines the current trends of textile materials based Elastan threads. Analyzes their impact on the shape stability and durability of textile materials and finished products. It was found that Elastan thread radically changes primarily functional properties of clothing, improving, except comforts such fundamentally important factors as drapability, wrinkle resistance.

Keywords: thread Elastan, Lycra, dorlastan.

Вступ

Протягом кількох десятиліть еластичні тканини пережили ряд злетів і падінь, при цьому загальний обсяг їх виробництва був незначний. Ця ситуація різко змінилася, коли проявилася постійно зростаюча тенденція до еластифікації текстильних полотен, що використовуються для виробництва верхнього одягу. Очікується, що протягом наступних десятиліть ця тенденція буде все більш визначальною.

До еластанових ниток при виробництві деяких видів одягу використовувалися тільки натуральні гумові (латексні) нитки, які мали істотні недоліки, що обмежували їх застосування в текстильних матеріалах. Зокрема це відносно низький початковий модуль жорсткості при розтягуванні, дуже обмежений інтервал лінійних густин, низька здатність до термостабілізації, швидке старіння, деструкція тощо. Цих недоліків позбавлені еластанові нитки, які швидко витіснили гуму й істотно розширили можливості еластичності текстильних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Напівпромислове виробництво ниток на основі сегментованого поліуретану було розпочато компанією "Du Pont" наприкінці 50-х рр. Починаючи з 1962 р. перша у світі еластанова нитка, що одержала торговельну марку Лусга® (Лайкра®), виробляється в комерційних масштабах. Поява еластанів на початку 60-х рр. стимулювала появу і розвиток нових типів текстильних матеріалів та одягу, які мали крашу комфортність і облягання у порівнянні із традиційними тканинами й трикотажними полотнами.

Початкове використання еластанових ниток було пов'язане із заміною гумових ниток у поясі й корсетних виробів. Далі Лайкру® використовували для виготовлення нижньої білизни, купальних костюмів, панчішно-шкарпеткових виробів та спортивного одягу. Більш широке застосування еластанових ниток призвело до створення нових видів текстильних полотен і було головним чинником для досягнення функціональних властивостей і стильових рішень сучасного одягу. Лайкра® докорінно змінює, в першу чергу, функціональні властивості одягу, поліпшуючи, крім комфортності, такі принципово важливі показники, як драпірувальність, незминальність (більш ніж на порядок). При цьому дизайнери одержують більшу гнучкість у проектуванні як одягу, так і текстильних полотен, які можуть мати різні поверхневі або об'ємні ефекти. Сумарний світовий обсяг виробництва еластанових ниток становить 0,4 % від загального обсягу всіх використовуваних волокон і ниток.

Постановка завдання

Метою дослідження є аналіз впливу еластанових ниток на формостійкість платтяно-костюмних тканин та їх вплив на довговічність готових виробів.

Результати дослідження

Еластанові нитки, які використовуються для ткацтва, повинні бути захищені від механічних впливів, що виникають в цьому процесі. Зокрема до них відносяться циклічний розтяг пряджі, пікові розтягування, тертя, що супроводжується підвищенням температури. У наш час застосовується ряд технологій, які напрямлені на запрацювання еластану всередину пряджі. Наприклад, прядіння із сердечником, трощення з наступним крутінням, коли еластанова нитка мігрує до сердечника пряджі, обкручування, пневмопоеднання (пневмопереплутування) тощо.

В подальшому буде розвиватися тенденція відходу від «універсальної» еластанової нитки, що могла

б використовуватися для всіх матеріалів, до спеціальних типів, спроектованих для задоволення конкретних вимог даного виду текстильних матеріалів. Зокрема, розвиток еластанових ниток буде йти шляхом повної сумісності з різноманітними текстильними волокнами й нитками у фарбуванні й обробленні. Можна прогнозувати широке використання еластанових ниток у безшовному одязі [1].

Для еластичних тканин, крім еластанових ниток, традиційно застосовувались текстуровані нитки, зазвичай поліамідні, які іноді могли забезпечити необхідний результат у випадках низької еластичності. Однак еластани змогли запропонувати ряд переваг над текстурованими нитками. Наприклад, для забезпечення еластичної розтяжності на рівні 15–30% потрібен відносно низький вміст еластанових ниток: зазвичай 2–4%. У той же час, для досягнення такої еластичності тканини необхідно додавати, щонайменше, 40% текстурованих ниток. Крім того, на відміну від текстурованих ниток, незначний вміст еластанів дозволяє зберігати тактильні і візуальні відчуття основного волокнистого складу тканини.

Бавовняна габардинова тканина відчувається саме як бавовняна. Вовняна фланель також відчувається саме як вовняна. Щоб зберегти незмінними ці візуальні і тактильні характеристики при використанні еластанових волокон в якості одного з компонентів, його обмотують іншою пряжею або іншими волокнами з відповідними майбутньому виробу особливостями і характеристиками.

Саме за рахунок цього, наприклад, джинсова тканина (денім, бавовняна тканина саржевого переплетення) яка містить у своєму складі нитку Лусга з обкруткою з бавовняних волокон, в розтягнутому стані органолептично цілком аналогічна звичайній тканині денім, і тільки в процесі носіння проявляються особливі властивості – підвищена комфортабельність і еластичність.

Лайкра® використовується лише в невеликих кількостях в комбінації з іншим типом або ж з іншими типами волокон, як натуральними, так і синтетичними. Еластанові нитки, що використовуються для ткацтва, повинні бути захищені від фізичних впливів, що реалізуються в цьому процесі, циклічних прискорень пряжі, пікових натягів, фрикційних сил, супроводжуваних підвищенням температури. Є також і інші технічні аспекти, що зумовлюють необхідність обкрутки нитки Лусга іншими волокнами або пряжею, так, наприклад, деякі технології вироблення тканин або трикотажу абсолютно не можуть мати справу з високоеластичною пряжею. У цих випадках Лайкра®, вкрита оболонкою з інших волокон (обкручена іншою пряжею), тимчасово стабілізується, наближаючись за своїми фізико-механічними характеристиками до звичайної, нееластичної пряжі. Це дозволяє повністю зберігати характеристики еластичності в пряжі з Лайкра® в ході здійснення процесів оброблення і фарбування [2].

Існують наступні технології вироблення пряжі з оболонкою: одношарове або двошарове обкручування, кільцепрядіння з сердечником, інтерлейсинг (пневмоперепутана, пневмоз'єднана). Розтягнута нитка Лайкра® обкручується зазвичай нееластичною філаментною пряжею. Для забезпечення максимальної якості подібної обкрученої пряжі застосовують повторне обкручування в напрямку, протилежному напрямку крутки першого. Обкрутка пряжі другим шаром, насамперед, ліквідує тенденцію до розкручування обплетення першого шару.

Вкрита оболонкою, обкручена в один або два шари, нитка Лайкра® використовується в широкому спектрі тканих виробів. Так, пряжа з високою лінійною щільністю використовується в тканинах для брюк, спортивного одягу, уніформи, тонша пряжа використовується в більш легких одягових тканинах. Нееластична багатоволоконна (мультифіламентна) пряжа подається через пневмопристрої спільно з волокном Лусга. Останнє знаходиться в цей момент в розтягнутому стані. Під впливом потоку стислого повітря утворюються ділянки взаємоперепутування (взаємозачеплення) Лайкра® з філаментною пряжею. Отримана пневмоперепутана пряжа, специфічна за своєю структурою, є надзвичайно потрібною для цілої групи тканин, де м'яка і еластична пряжа повинна володіти певною рухливістю [3].

Останнім часом у швейній промисловості знайшли широке застосування біеластичні матеріали, що містять у своєму складі волокна лайкри і дорластану, що надають виробам більшу свободу рухів. Тканини з еластичними нитками одночасно і еластичні, і формостійкі. Такі тканини як габардин, саржа і оксамит, можуть розтягуватися як в поперечному або в поздовжньому напрямках, так і в обох напрямках відразу.

Тканини, які розтягуються в поперечному напрямку, добре підходять для облягаючих жакетів, спідниць, штанів і суконь. Для брюк-рейтузів і брюк для верхової їзди більше підходять тканини, які розтягуються в поздовжньому напрямку. Ідеальними, звичайно, є біеластичні тканини, які розтягуються в обох напрямках.

Провідні світові виробники одягу, такі як Giorgio Armani, Max Mara, Boss, Escada, в багатьох своїх модних колекціях використовують еластичні тканини, які зараз відрізняються від попередніх значно більшим різноманіттям за зовнішнім виглядом і властивостями. Завдяки поєднанню натуральних і хімічних волокон створюється основа для створення матеріалів, придатних для виготовлення комфортного одягу, які користуються попитом у споживачів.

Істотним недоліком поліуретанових волокон є їх порівняно невисока термостійкість. При температурі 150 ° С вони жовтіють і піддаються термодеструкції, що вимагає суворого контролю за параметрами волого-теплової обробки еластичних матеріалів. Щоб отримати бездоганний готовий виріб, матеріал піддають розбракуванню і для нього визначають показник подовження і стабільність розмірів. Обов'язковою умовою отримання хорошої посадки моделей є сепаратний розкрій будь-якого еластичного матеріалу. При цьому Du Pont Лайкра® у своїх технічних рекомендаціях вказує на необхідність зміни системи градуювання. Рекомендується здійснювати вхідний контроль кожної партії еластичних матеріалів.

У рекомендаціях з розкрою та шиття виробів з еластичних тканин, створених Du Pont, вказується необхідність релаксації настилів перед розкромом і рівномірного настилення полотен без розтягування. Папір, прокладений між полотнами настилу, перешкоджає утворенню складок на тканині і дозволяє звести до мінімуму оплавлення зрізів деталей при розкрої зі зниженою швидкістю. При виконанні технологічних операцій повинні враховуватися еластичні властивості матеріалу і регулюватися довжина стібка. При цьому потрібно віддавати перевагу ниткам з поліаміду або поліефіру, а не з бавовни.

Таким чином, в літературних джерелах виявлені узагальнені рекомендації для споживача з виготовлення виробів з еластичних матеріалів.

Щоб філаменти лайкри не розщеплювались, у технологічному процесі пропонується застосовувати швейні голки з кулястим вістрям або збільшеним вушком. У процесі шиття необхідно звертати особливу увагу на натяг голкової нитки, швидкість шиття, подачу матеріалу, на обробку краю, виготовлення петель, кишень, а також прасування виробів.

У рекомендаціях зазначено, що еластичні тканини прасують слабо і помірно нагрітою праскою. Попередньо необхідно спробувати на клаптику тканини, яку температуру «переносить» тканина і чи можна її прасувати із застосуванням пари. Трикотажні полотна з лайкрою прасують злегка нагрітою праскою без пари. Виміряйте лоскут тканини до і після прасування, щоб визначити, чи дає тканина зміну лінійних розмірів. В залежності від якості еластичні тканини дають зміну лінійних розмірів до 10%. Очевидно, що дана інформація, при своїй значимості, не має науково-дослідного обґрунтування, а заснована на окремому практичному досвіді.

Що стосується властивостей і методів випробувань еластичних матеріалів, то на сьогоднішній день існують лише стандарти і дослідження, що застосовуються до обмеженого асортименту полотен (в основному до трикотажу). Тому необхідне розроблення методів визначення властивостей тканих еластичних полотен і об'єктивне дослідження їх властивостей.

Швидке зростання виробництва еластичних тканин - це прогноз на найближчі роки. Очікується істотно більше проникнення еластанових ниток у верхній одяг із тканин. Нормою для тканин буде еластичність, здатність зберігати її довгий час, а також стабільність розмірів і незмінальність.

Буде розвиватися тенденція відходу від "універсальних" еластанових ниток, які могли б використовуватися для всіх матеріалів (трикотаж, тканини і т. д.), до спеціальних типів, спроектованих для задоволення конкретних вимог даного виду текстильних матеріалів. Можна прогнозувати широке використання еластанових ниток в безшовному одязі. Вже зараз ринок безшовної білизни росте, не встигаючи за попитом.

Висновки

У результаті досліджень встановлено, що еластичні нитки докорінно змінюють, в першу чергу, функціональні властивості одягу, покращуючи, крім комфортності, такі принципово важливі показники, як драпірування, незмінальність (більш ніж на порядок). При цьому, особливий вплив розтяжні тканини чинять на формувальні здібності матеріалів, так як істотно змінюють їх деформаційні характеристики. Минулі 50 років продемонстрували постійний рух від традиційних текстильних матеріалів до більш легких еластичних полотен. Серед наступних завдань – подальший розвиток нових структур еластичних полотен, у тому числі і різних поверхневих ефектів, більш комфортного одягу, для якого облягання і почуття зручності не будуть взаємовиключними поняттями.

Література

1. Пелик Л.В. Сучасні тенденції використання термостійких і високоеластичних текстильних волокон / Л.В. Пелик, У.Б. Гілета // Проблеми підвищення якості товарів народного споживання: матеріали всеукраїнського наукового семінару – Луцьк : Луцький нац. технічний університет, 2012. – С. 21–24.
2. Болиек Дж. Е. Лусга®: история развития / Дж. Е. Болиек // Текстильная промышленность. – 2000. – № 4. – С. 37–39.
3. L. Pelyk. New tendencies of using the modified polyamide and aramide of fibres and filaments / L. Pelyk, U. Gileta // Engineering and methodology of modern technology : monograph / edited by G. Paraska, J. Kowal. – Хмельницький : Вид-во ХНУ? 2012. – С. 60–66.

Рецензія/Peer review : 15.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.

Рецензент : д.т.н., професор Пелик Л.В.

УДК: 661.18:006(477)

О.А. ПАРАСКА, В.О. КОВАЛЬСЬКА, С.А. КАРВАН

Хмельницький національний університет

СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ВИРОБНИЦТВА МИЙНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ

В роботі описані вимоги до показників якості мийних засобів та нормативні документи, які регулюють умови їх застосування. Наведено характеристики основних компонентів мийних засобів з урахуванням показників екологічної безпеки. Показано, що розвиток галузі виробництва мийних засобів відбувається у напрямку створення нових багатоконпонентних композицій на основі поверхнево-активних речовин з додаванням активних добавок, які прискорюють процес видалення забруднень з матеріалів. Для підвищення безпечності мийних засобів і зменшення їх впливу на навколишнє середовище необхідно застосовувати екологічно-безпечні поверхнево-активні речовини та дотримуватися стандартів ДСТУ та ISO.

Ключові слова: стандарти, поверхнево-активні речовини, мийні засоби, біорозклад.

O.A. PARASKA, V.O. KOVALSKA, S.A. KARVAN
Khmelnyskyi National University

MODERN REQUIREMENTS TO THE PRODUCTION OF DETERGENTS IN UKRAINE

The requirements to quality of detergents and normative regulations that regulate the conditions of their use are described in this analytical paper. The characteristics of the main components of detergents with taking into account the indicators of environmental safety are analysed. It is shown that the development of the production of detergents takes place towards a creation of new multicomponent compositions based on surfactants with the active additives that speeds up the process of removal of pollutants from the materials. It is important to use the environmentally friendly surfactants and comply with DSTU and ISO standards to improve the safety of detergents and reduce their environmental impact.

Keywords: standards, surfactants, detergents, biodegradation.

Вступ

Історія очищення одягу від забруднень сягає в давнину аж до перших цивілізацій. В різний час і в різних країнах до цього питання підходили по-різному, але в більшості випадків для видалення забруднень з одягу використовувалася вода. Проте далеко не будь яке забруднення вдавалося видалити водою, і найперші мийні засоби з'явилися для того, щоб видаляти жирові забруднення з одягу. Такі засоби були в основному рослинного або мінерального походження. З часом розвиток хімічної промисловості сприяв створенню синтетичних мийних і вибілювальних засобів, які видалляли бруд і вибілювали тканин краще, ніж натуральні. Використання нафтохімічної сировини дозволило значно розширити сировинну базу для мийних засобів і організувати масштабне виробництво різноманітних за асортиментом та споживчими властивостями синтетичних мийних засобів (СМЗ). Еволюція виробництва мийних засобів продовжується і у наш час, відповідно до сучасних вимог. Основна увага приділяється пошуку ефективної, дешевої, екологічно безпечної сировини.

Постановка завдання

На сьогодні асортимент мийних засобів, які представлені на ринку України, є різноманітним. Переважну кількість становлять мийні засоби на основі синтетичних поверхнево-активних речовин (ПАР). До їх складу також входять зв'язуючі речовини, оптичні та хімічні відбілювачі, піноутворювачі, пом'якшувачі та допоміжні речовини (ферменти та ароматизатори). Мийні засоби на основі натуральних ПАР, представлені в невеликому обсязі, за рахунок високої вартості. У зв'язку з цим розширення наявного асортименту мийних засобів, особливо на основі натуральних ПАР, є актуальним оскільки питання екологічної безпеки є одним з найбільш пріоритетних в сучасному світі.

Ринок мийних засобів в Україні пропонує великий вибір вітчизняних та закордонних препаратів для обробки тканин різного волокнистого складу [1]. Обсяги виробництва окремих видів мийних засобів наведено в таблиці 1.

Згідно даних таблиці 1 видно, що виробництво мийних засобів для догляду за шкірою, збільшилось у 2014 році, зокрема засоби для роздрібною торгівлі, тобто збільшився попит виробництва мийних засобів для індивідуальних споживачів.

Однак, сьогодні в Україні виробляється менше половини необхідної кількості мийних засобів, при тому що рівень споживання залишається одним із найвищих у Європі. Більшість вітчизняних виробників працює в маленьких ринкових нішах, не претендуючи навіть на 1 % ринку.

Проблемою вітчизняних виробників є те, що більшість вітчизняних підприємств виробляло мийні засоби на основі закордонної сировини, з вузьким асортиментом, не враховуючи зміни у попиті на цю групу товарів. Крім того, чинні стандарти на продукцію, які було розроблено у 90-х роках, не відповідають вимогам часу [2].

Тому виникає питання визначення основних вимог якості та екологічної безпеки компонентів різних мийних засобів з метою підвищення конкурентноздатності продукції українського виробництва.

Обсяги виробництва окремих видів препаратів

№ п/п	Найменування продукції	Фактично вироблено продукції, т	
		2013 рік	2014 рік
1	Речовини поверхнево-активні органічні аніонні	6339	5994
2	Речовини поверхнево-активні органічні неіонні	1856	2094
3	Речовини поверхнево-активні органічні інші (крім мила, аніонних, неіонних, катіонних)	917	621
4	Мило та речовини поверхнево-активні органічні в брусках та подібних формах (крім туалетних цілей)	13893	13770
5	Мило в інших формах та речовини і засоби поверхнево-активні органічні що їх використовують як мило; папір, вата, повсть, фетр і матеріали неткані, просочені або покриті милом чи мийним засобом	2813	2514
6	Препарати поверхнево-активні, які містять або не містять мило, розфасовані для роздрібної торгівлі (крім тих, що їх використовують як мило)	2843	6696
7	Засоби мийні та для чищення, які містять або не містять мило, включаючи допоміжні засоби для миття, розфасовані для роздрібної торгівлі (крім тих, що їх використовують як мило або речовини поверхнево-активні)	265788	254843
8	Препарати поверхнево-активні, які містять або не містять мило, не розфасовані для роздрібної торгівлі (крім тих, що їх використовують як мило)	6281	5620
9	Засоби мийні та для чищення, які містять або не містять мило, включаючи допоміжні засоби для миття, не розфасовані для роздрібної торгівлі (крім тих, що їх використовують як мило та поверхнево-активні речовини)	15167	10074
10	Пасти, порошки та засоби для чищення інші	4369	4433
11	Мило та речовини поверхнево-активні органічні у вигляді брусків, брикетів, фігурних формованих виробів або у інших формах, для туалетних цілей	32452,1	34979,7
12	Речовини поверхнево-активні органічні та засоби для миття шкіри, які містять або не містять мило, розфасовані для роздрібної торгівлі	6689,5	10637,2

Виклад основного матеріалу

Сучасні мийні засоби є складними багатокомпонентними сумішами [3]. В якості основного компоненту використовуються аніоноактивні, катіоноактивні, неіоногенні або амфотерні ПАР, а також оптичні відбілювачі, хімічні відбілювачі, ферменти, піноутворювачі та пом'якшувачі. Основний склад мийних засобів представлений на рисунку 1.

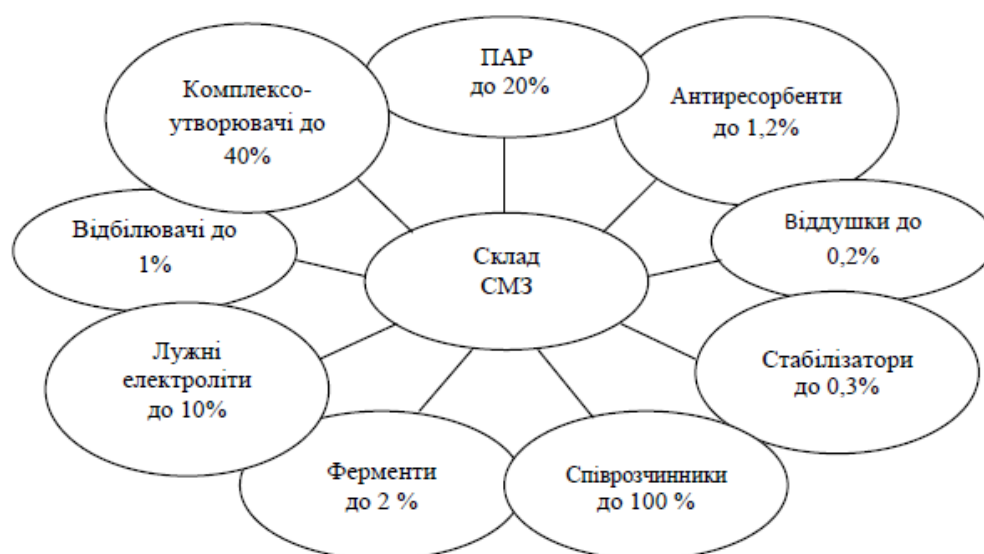


Рис. 1. Основний склад мийних засобів

Існують інші функціональні добавки: активатори розкладу хімічних відбілювачів, гідротропи – речовини, що поліпшують розчинність компонентів, комплексоноутворювачі – речовини, що зв'язують солі заліза, і т.д. Такий хімічний склад сприяє зменшенню поверхневого натягу води, покращенню змочувальності тканини, підвищенню емульгуючої та піноутворювальної здатності мийних засобів.

Вимоги до якості продукції, що мають задовольняти потреби споживачів, встановлюються в стандартах і технічних умовах [4]. Але ці нормативні документи не гарантують того, що під час розробки, виробництва, зберігання та реалізації товарів фактично досягнутий рівень якості буде повністю відповідати встановленим вимогам.

Для оцінювання відповідності мийних засобів розроблено Технічний регламент (постанова Кабінету Міністрів України від 20 серпня 2008 р. № 717), з урахуванням Регламенту № 648/2004 Європейського Парламенту та Ради ЄС від 31 березня 2004 р. про мийні засоби.

Вимоги цього Технічного регламенту поширюються на:

- мийні засоби, призначені для прання або очищення та введені в обіг на території України для потреб споживача;
- мийні засоби, призначені для замочування, полоскання, апретування, пом'якшування або вибілювання виробів з тканин;
- мийні засоби, призначені для очищення поверхонь, матеріалів, виробів, механізмів, механічних пристроїв, транспортних засобів та допоміжного обладнання, інструментарію, апаратури тощо;
- інші мийні засоби, призначені для використання під час прання та очищення.

Вимоги цього Технічного регламенту не поширюються на: мило тверде, косметичні засоби, ПАВ, які мають бактерицидні властивості та мийні засоби, що містять не більш як 0,2 % ПАВ [5].

Засоби для обробки текстильних матеріалів повинні мати приємний запах, встановлений колір, однорідну консистенцію, добре розчинятися у воді і мати визначену мийну здатність, бути безпечними для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Європейським законодавством прийнято рішення щодо стандарту первинного біологічного розкладу ПАВ. Цей стандарт встановлений в директиві ЄС 73/404/ЄЕС і вимагає, щоб біорозклад перевищував 90 %. В Україні доказом відповідності продукції вимогам Технічного регламенту мийних засобів є застосування ДСТУ 2161:2010 «Засоби мийні синтетичні порошкоподібні. Метод визначення здатності до біологічного розкладання аніонних поверхнево-активних речовин» та ДСТУ 7282:2012 «Засоби мийні синтетичні. Метод визначення здатності до біологічного розкладання неіоногенних поверхнево-активних речовин». Рівень здатності до повного біологічного розкладу ПАВ, що входять до складу мийного засобу для обробки тканин за 28 днів повинен становити не менш як 60 % (за карбоном діоксидом) або 70% (за загальним органічним карбоном). У разі коли такий показник нижчий від зазначеного рівня, проводяться випробування на визначення здатності до первинного біологічного розкладу ПАВ, що входять до складу того чи іншого мийного засобу. Рівень первинного біологічного розкладу ПАВ, що входять до складу мийного засобу, повинен становити не менш як 80 %.

Основною перевагою аніоноактивних ПАВ є відносно невисока вартість, ефективність і висока розчинність. Аніоноактивні ПАВ у воді дисоціюють на гідрофобний аніон, що володіє мийною дією та неорганічний катіон, який надає мийному засобу розчинності у воді. Їх найбільше застосовують у виробництві мийних засобів. Практичне застосування знайшли також олефінусульфонати, які володіють високою мийною дією, в тому числі в жорсткій воді, що особливо важливо для безфосфатних мийних засобів; гідроксіолефінусульфонати; сульфонати естеру жирної кислоти; алкілсульфати і сульфати оксіетильованого жирного спирту. Вони володіють високою мийною дією і ступенем біорозкладу від 80 до 98 % . Широко застосовуються в рецептурах мийних засобів у Європі, США, Японії. Однак в більшості вітчизняних засобах застосування не знаходять. Перевагою неіоногенних ПАВ є делікатна дія на тканину і головне – 100% біорозклад.

Катіоноактивні ПАВ за обсягом виробництва значно поступаються аніоноактивним і неіоногенним (12 % від загальної кількості вироблених ПАВ), але завдяки своїм цінним властивостям ефективно використовуються в багатьох галузях. Катіоноактивні ПАВ використовуються як інгібітори корозії, антистатиками, гідрофобізаторами, емульгаторами, дезінфектантами. У поєднанні з неіоногенними ПАВ знаходять застосування в мийних засобах, які володіють бактерицидною дією. Біорозклад катіонних ПАВ мало вивчений, науковці рекомендують використовувати четвертинні амонієві луки, які володіють високим ступенем біорозкладу, понад 80%.

Однією із важливих характеристик засобів для обробки тканин є вміст компонентів на основі натрію триполіфосфату, тобто вміст фосфатів. У традиційних пральних порошках рівень вмісту фосфатів - часто перевищує 40% (виробники вказують від 15 до 30%, хоча реально спостерігається перевищення норми). Ці сполуки використовуються для пом'якшення води. За результатами досліджень, для того щоб видалити залишки фосфатів з тканин після прання, потрібно провести 10 і більше полоскань в гарячій воді. У сучасних пральних машинах використовується всього три цикли полоскання в холодній воді.

Відповідними директивами європейське співтовариство визначило етапи відмови від фосфатів до 1 січня 2017 року. Проект Технічного регламенту Митного союзу також вимагає переходити на екологічну побутову хімію до 2020 року.

Згідно з Технічним регламентом обмеження щодо вмісту фосфатів та інших сполук фосфору представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Обмеження щодо вмісту фосфатів та інших сполук фосфору в мийних засобах

Найменування мийного засобу	Обмеження	Дата застосування обмеження
Пральний порошок	загальний вміст фосфору не повинен становити чи перевищувати 0,5 грама в рекомендованій кількості або дозуванні прального порошку для використання в основному циклі процесу прання у жорсткій воді для стандартного завантаження пральної машини	через 12 місяців з дня набрання чинності постановою Кабінету Міністрів України від 12 червня 2013 р. № 408
Мийний засіб для побутових посудомийних машин	загальний вміст фосфору не повинен становити чи перевищувати 0,3 грама в стандартній дозі мийного засобу для використання в основному циклі миття для завантаження посудомийної машини столовим набором на 12 персон	1 січня 2017 р.

Усі мийні засоби, які виробляються та реалізуються на території України повинні відповідати Державним стандартам України – ДСТУ (ISO) та міждержавним стандартам ГОСТ. Основні вимоги до якості синтетичних мийних засобів регламентуються ДСТУ 2972-94 «Засоби мийні синтетичні порошкоподібні. Загальні технічні вимоги» (ГОСТ 25644-96).

Оцінку відповідності мийних засобів в Україні регламентують нормативні та законодавчі акти, а саме: Технічний регламент мийних засобів; Технічний регламент модулів оцінки відповідності; Закон України «Про загальну безпеку нехарчової продукції»; Закон України «Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції»; Закон України «Про захист прав споживачів» [6].

В таблиці 3 представлені показники відповідності мийних засобів та їх вимоги для застосування.

Таблиця 3

Показники якості та нормативні документи для виробництва мийних засобів

Найменування показника	Значення показника	Метод випробування
Колір: білизна, %, не менше	85	ГОСТ 22567.13-82 «Средства моющие синтетические. Метод определения цвета»
Масова частка пилу, %, не більше	5	ДСТУ 2972-94 «Засоби мийні синтетичні порошкоподібні. Технічні умови», - визначення масової частки пилу в порошкоподібних мийних засобах
Показник концентрації водневих іонів (рН), одиниць рН	5,0-11,5	ГОСТ 22567.5-93 «Средства моющие синтетические и вещества поверхностно-активные. Методы определения концентрации водородных ионов»
Масова частка фосфорокислих солей (в перерахунку на P ₂ O ₅)*, %, не більше	17	ГОСТ 22567.7-87 «Средства моющие синтетические. Метод определения массовой доли фосфорнокислых солей»
Масова частка активного кисню**, %, не більше	6,0	ГОСТ 22567.10-93 «Средства моющие синтетические. Методы определения массовой доли активного кислорода»
Піноутворювальна здатність***, висота стовпа піни, мм, не більше	180	ГОСТ 22567.1-77 «Средства моющие синтетические. Метод определения пенообразующей способности»
Стійкість піни, одиниць, не більше	0,3	ГОСТ 22567.1-77 «Средства моющие синтетические. Метод определения пенообразующей способности»
Відбілювальна здатність, %, не менше	85	ГОСТ 22567.11-82 «Средства моющие синтетические. Метод определения отбеливающей способности»
Мийна здатність, % не менше для порошкоподібних, гранульованих, агломерованих і формованих засобів; для пастоподібних засобів; для рідких засобів (в т.ч. загущених)	85 80 60	ДСТУ 2665-94 «Засоби мийні синтетичні. Метод визначення мийної здатності» (ГОСТ 22567.15-95)

* Визначається при наявності в рецептурі.
 ** Для засобів, в призначенні яких вказана відбілювальна здатність
 *** Для засобів з нормуючим піноутворенням для пральних машин з фронтальним завантаженням, окрім засобів для прання виробів, що містять вовну та делікатних тканин

Випробування мийних засобів та ПАР, що входять до їх складу, проводяться акредитованими відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних лабораторій» випробувальними лабораторіями у відповідності з національними стандартами.

Висновки

Одним з головних завдань сучасного світу є вирішення проблем екології та гармонійного існування людини і природи. Незважаючи на значну кількість стандартів та нормативних документів щодо якості та відповідності мийних засобів, реальні показники не завжди відповідають даним вимогам. Крім того, не існує єдиних нормативних вимог, як б враховували усі показники якості певних мийних засобів. Тому для створення безпечної і якісної продукції для споживачів та виходу на європейський ринок, вітчизняним виробникам необхідно переходити на застосування екологічно-безпечної сировини у виробництві мийних засобів та вдосконалити процес їх перевірки та сертифікації.

Література

1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. Барна М.Ю. Стан та тенденції розвитку ринку синтетичних мийних засобів / М.Ю. Барна, О.Я. Демкевич // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.5. – С. 183–187.
3. Paraska O. Elaboration of textile chemicals on the basis of mixtures of surfactants compositions / O. Paraska, S. Karvan, D. Matveitsova // V International R&D brokerage event in textiles and clothing, 4 – 5 April 2013, Bursa, Turkey. P. 202 – 204.
4. Білоусова О.В. Ідентифікація мийних засобів для прання [Електронний ресурс] : стаття / О.В. Білоусова // Товарознавство в митній справі. – Режим доступу : <http://te.zavantag.com/docs/749/index-52409.html>.
5. Технічний регламент мийних засобів: за станом на 20 серпня 2008 р. № 717 : постанова Кабінету Міністрів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/>.
6. Засоби мийні синтетичні порошкоподібні. Загальні технічні вимоги. Показчик та огляд (ДСТУ 2972-94) : ГОСТ 25644-96. – [Чинний від 1998-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1996. – (Національний стандарт України).

Рецензія/Peer review : 15.3.2016 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Параска Г.Б.

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 № 9 від 31.3.2016 р.

Підп. до друку 28.1.2016 р. Ум.друк.арк. 19,63 Обл.-вид.арк. 25,53
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