

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1.2016

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2016, Issue 1, Volume 233

Хмельницький

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

Затверджений як фахове видання
Наказ МОН 04.07.2014 №793

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2016, № 1 (233)

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

Включено до наукометричних баз:

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

Головний редактор

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

**Заступник головного
редактора**

Параска Г. Б., д.т.н., професор, проректор з наукової роботи
Хмельницького національного університету

Відповідальний секретар

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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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

Технічний редактор

Горященко К. Л., к.т.н.

Редактор-коректор

Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 7 від 28.1.2016 р.**

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

((038-22) 2-51-08

web: <http://journals.khnu.km.ua/vestnik>

e-mail: visnyk_khnu@rambler.ru

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

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

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

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

ЗМІСТ

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Я.Г. СКОРЮКОВА, С.М. МАРКОВ, О.М. ЧЕПУРНА, В.В. ХОЛПІ СЕГМЕНТАЦІЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЗМІН БІООБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ	7
О.В. ОСАДЧУК, Л.В. КРИЛИК, М.В. ЄВСЄЄВА, О.О. СЕЛЕЦЬКА МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ З ЄМНІСНИМ ВОЛОГОЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ НА ОСНОВІ СТИБІЙ АБО БІСМУТВМІСНИХ ДІОКСИМАТІВ НІКОЛУ (II)	12
І.Р. ПАРХОМЕЙ, Ю.М. БОЙКО, О.І. ЄРЬОМЕНКО РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	17
А.В. КРАСІЙ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОЇ СКЛАДОВОЇ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМНИХ ПРОЕКТІВ	24
І.Р. МИХАЙЛЮК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, Т.О. ВАВРИК МЕТОДИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ	32
І. ЯКИМЕНКО ЕФЕКТИВНИЙ АЛГОРИТМ ГЕНЕРУВАННЯ ПРОСТИХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ	38
С.В. ТИМЧИК, С.В. КОСТІШИН, С.М. ЗЛЕПКО, Р.М. ВИРОЗУБ АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІТ МОНІТОРИНГУ ТА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗДОРОВ'Я СТУДЕНТІВ	43
В.С. ПЕТРУШАК, І.В. СТОЛЯРЧУК АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ФОРМУВАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ЧИСЕЛ.....	49
С.М. БОЙКО, І.О. ГУБІН, О.В. ОМЕЛЬЧЕНКО, С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЛЕКТИВНОСТІ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ...	52
І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА ОКРЕМІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ УЗГОДЖЕНИХ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ІМПУЛЬСНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ ВИПАДКОВІ МОДУЛЯЦІЙНІ СКЛАДОВІ	56
В.Р. ЛЮБЧИК, Ю.В. СЕНЧИШИНА, І.В. ТРОЦИШИН ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНЕЙ	61
Д.О. ЛЕВЧУНЕЦЬ БАГАТОСИМВОЛЬНЕ ДЕКОДУВАННЯ КВАДРАТУРНИХ ТИПІВ СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛОКАЛЬНО-БАЗИСНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ	69
В.А. АНДРІЙЧУК, М.С. НАКОНЕЧНИЙ ВПЛИВ ФОРМИ ПЛАНАРНИХ ІНДУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЇХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПАРАМЕТРИ	73
V.V. ROMANUKE 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	78

К.Л. ГОРЯЩЕНКО ПРИНЦИПИ ФАЗОЧАСТОТНОГО ПІДХОДУ ДО ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ПРОВІДНИКОВИХ ЛІНІЙ	85
--	----

Н. І. ПРАВОРСЬКА ЕФЕКТИВНІСТЬ АНАЛІЗУ СТУДЕНТАМИ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ C++ ТА C# У ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ КУРСОВИХ РОБІТ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ РІЗНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НЕОБХІДНОЇ МОВИ	89
--	----

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

І.М. ПАСТУХ, О.С. ЗДИБЕЛЬ ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ	98
---	----

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ ВИКОРИСТАННЯ ТОЧОК РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ ДЛЯ СИНТЕЗУ ВАЖИЛИХ ДВОКРИВОШИПНИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ	103
---	-----

В.О. ПРОЦЕНКО, О.Ю. КЛЕМЕНТЬЄВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КАНАТНИХ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МУФТИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ	109
--	-----

В.П. РОЙЗМАН, А.Г. ВОЗНЯК ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ МІЦНОСТІ І ГЕРМЕТИЧНОСТІ КОМП'ЮНДОВАНИХ ВИРОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ	112
--	-----

Г.М. СОКОЛОВА МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОФАКТОРНИХ ПРОЦЕСІВ З ВЗАЄМОЗАЛЕЖНИМИ ФАКТОРАМИ ВПЛИВУ	117
--	-----

О.М. МАНДРИК, Ю.Д. МИХАЙЛЮК ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КАМЕРИ ЗГОРАННЯ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ НА РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМАХ	121
---	-----

Є.О. ЄВСТАФ'ЄВА, К.О. ДЯДЮРА ПОБУДОВА МОДЕЛІ СИСТЕМИ СТАНДАРТІВ НА ПІДСТАВІ МІЖНАРОДНИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ У СФЕРІ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	126
---	-----

Є.О. ГОЛІНКА, С.Л. ГОРЯЩЕНКО ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІТЕТРАФЛУОРЕТЕНУ У ВАЛКОВИХ МАШИНАХ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ТКАНИНУ	134
---	-----

V.A. MOROZ PROBLEMS OF TRANSMITTING VIBRATIONS TO ELECTRONIC DEVICES AT VIBRATION TESTS CONDUCTED ON VIBRATION STAND	138
---	-----

П.В. КАПЛУН, В.А. ГОНЧАР ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІОННОГО АЗОТУВАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В СТАЛІ 45Х	142
--	-----

Г.А. ОБОРСКИЙ, Ю.Г. ПАЛЕННЫЙ, АНДР. А. ОРГИЯН ВОЗБУЖДЕНИЕ ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ И ИХ ИЗМЕРЕНИЯ НА ВРАЩАЮЩИХСЯ КОНСОЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТАХ	146
---	-----

А.В. ГОРОШКО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВУЗЛІВ МАШИН ШЛЯХОМ РОЗВ'ЯЗАННЯ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ	150
---	-----

Є.І. ШЕВЧУК, К.І. ШЕВЧУК, І.О. СИВАК, О.М. МИРОНЕНКО ВИГОТОВЛЕННЯ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК, МЕТОДАМИ РОТАЦІЙНОЇ ВИТЯЖКИ	160
--	-----

Ю.С. КРУТИЙ, Н.Г. СУРЬЯНИНОВ, А.Э. ЧАЙКОВСКИЙ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУД ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ ПРИ
ВЫНУЖДЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЯХ БАЛКИ ЭЙЛЕРА-БЕРНУЛЛИ
С УЧЕТОМ НЕУПРУГОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ 165

А.Л. НИКИФОРОВ, И. А. МЕНЕЙЛЮК, М.Н. ЕРШОВ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕКОНСТРУКЦИИ
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ..... 172

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

О.В. СКІДАН, Т.А. НАДОПТА, О.А. МИХАЙЛОВСЬКА, В.П. КОНОВАЛ

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ
ПРИНЦИПІВ МОДУЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ 176

Н.І. УПІРОВА, А.М. СЛІЗКОВ, О.О. ГАЙДЕЙ

ЕКОЛОГІЧНА СЕРТИФІКАЦІЯ ПРОДУКЦІЇ ТЕКСТИЛЬНОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
ЯК ІНСТРУМЕНТ ВПЛИВУ НА ПОВНИЙ ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ 181

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ, І.Г. СОЛОНЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ
ЛІКУВАЛЬНО-БАНДАЖНИХ ВИРОБІВ ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОСУ 185

Ю.В. БЕРЕЗОВСЬКИЙ

НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБКИ ЛЛЯНОЇ СИРОВИНИ 189

А.В. НІКОНОВА, О.А. АНДРЕЄВА, Л.А. МАЙСТРЕНКО

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ПРОЦЕСУ ТИТАНОВОГО ДУБЛЕННЯ
В ПРИСУТНОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ СПОЛУКИ НА ОСНОВІ МАЛЕЇНОВОЇ КИСЛОТИ 196

Г.В. ЩУЦЬКА

АНАЛІЗ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВОЛОГИ В МАТЕРІАЛІ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ 202

Л.В. ПЕЛИК, О.В. КИРИЧЕНКО

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЯКОСТІ
ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ШАРУ 207

І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК

АНАЛІЗ І ОЦІНКА ПЕРЕОРІЄНТАЦІЇ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ
ВІТЧИЗНЯНОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ У ГАЛУЗІ ТЕКСТИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА 211

УДК 617.55-089-78

Я. Г. СКОРЮКОВА, С. М. МАРКОВ

Вінницький національний технічний університет

О.М. ЧЕПУРНА, В.В. ХОЛІН

«Фотоніка Плюс», м. Черкаси

СЕГМЕНТАЦІЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЗМІН БІООб'єктів ПІД ЧАС ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ

В статті описано можливість обробки флуоресцентних зображень, отриманих в результаті лазерного опромінення пухлинних тканин. Авторами було розроблено методику сегментації зображень, що складається із трьох послідовних етапів: виділення зображення об'єкту зразка тканини від зображення фону; виділення зображення ураженої тканини від зображення здорової тканини; об'єднання областей відблиску з областю зображення ураженої тканини. Експериментально доведено, що розроблена методика дозволяє підвищити достовірність виділення рівня накопичення барвника в пухлинній тканині відносно здорових тканин. В результаті отриманий метод обробки зображень може бути застосований для підвищення рівня діагностичної складової у лікуванні онкологічних захворювань.

Ключові слова: фотодинамічна терапія, лазерне опромінення, обробка зображення, метод сегментації.

YA. G. SKORIUKOVA, S. M. MARKOV

Vinnytsia National Technical University

O.M. CHEPURNA, V.V. KHOLIN

PSME «Fotonika Plus», Cherkassy

SEGMENTATION OF BIOMEDICAL IMAGES TO ASSES THE STRUCTURAL CHANGES OF BIOLOGICAL OBJECTS

Abstract - This paper describes the ability to process fluorescence images obtained as a result of laser irradiation of tumour tissue. We have developed a method of image segmentation consisting of three consecutive stages: the selection of the sample tissue image of the object from the background image; image selection diseased tissue from healthy tissue image; association areas of the flare area image affected tissue. Experimentally proved that the technique can increase the reliability of the selection of dye accumulation in tumour tissue relative to normal tissue. The result obtained by imaging can be used to increase the level of automation of the diagnostic component in the treatment of cancer.

Keywords: photodynamic therapy, laser irradiation, the method of segmentation of images.

Вступ

Зростання ракових захворювань в сучасному світі стимулює пошук нових прогресивних підходів до вирішення онкологічних проблем[1]. Одним із відомих методів є фотодинамічна терапія (ФДТ), яка дозволяє поєднати діагностику та лікування світлом характерної довжини хвилі в одній процедурі при введенні у пухлину фотосенсибілізатора (ФС) [2]. Наявність в зоні опромінення ФС, що вибірково накопичується в пухлині, є обов'язковою умовою проведення ФДТ, тому аналіз рівня флуоресценції ФС у пухлинній тканині може бути використаний з метою підвищення ефективності процедури [3] Метод фотодинамічної терапії із вибірковою лазерною опроміненням в області флуоресценції пухлини полягає у виділенні границь флуоресценції із подальшим «поточковим» опроміненням сфокусованим лазерним пучком із фіксованою часовою затримкою в кожній локальній ділянці тканини [4, 5]. В зв'язку з цим постає необхідність удосконалення відомих та створення нових відповідних методів та алгоритмів обробки, сегментації, виділення контуру флуоресцентного зображення, обчислення певних ознак та інше. Однією з найбільш важливих вимог до методів, що розробляються - повна або часткова автоматизація процесу при заданій точності виділення.

Формулювання задач дослідження.

Вхідне флуоресцентне зображення являє собою цифровий файл фрагменту тканини, що уражена пухлинними клітинами (рис. 1,а). При цьому об'єкт дослідження освітлюють світлом ультрафіолетового спектру (405 нм) для отримання флуоресценції у видимій області спектру (670 нм). Отримане зображення є кольоровим та складним за своєю структурою, оскільки включає зображення об'єкту та фону, на які, в свою чергу, накладаються тіні та відблиски. Зазвичай, для виділення корисної інформації застосовується інтерференційний фільтр. Це дає змогу провести сегментацію, тобто виділити ту ділянку, яка відповідає ураженим клітинам, або в ручному режимі, або з використанням сегментації за пороговим обмеженням (рис. 1,б). Недоліки: в першому випадку – відсутність автоматизації процесу, в другому – низька точність сегментації [6–8].

Необхідно зауважити, що при отриманні вхідних знімків мають бути дотримані певні умови. А саме: 1) освітлювання об'єкту має бути рівномірним(в ідеалі, безтіньовим); 2) розмір зображення об'єкту має бути не менше ніж 256 на 256 пікселів; 3) зображення фону має бути мінімізованим по відношенню до

зображення об'єкту; 4) фон має бути однорідним та значно відрізнятися за яскравістю від об'єкту в один або інший бік. Але в реальних умовах дотримати цих вимог досить складно.



Рис. 1. а) Опромінення фрагменту тканини, що уражена пухлинними клітинами;
б) обробка зображення із використанням сегментації за пороговим обмеженням

Основний матеріал дослідження.

Перед проведенням безпосередньо процесу сегментації було проведено кадрування таким чином, щоб площа зображення тканини була більша, ніж зображення фону (це може бути виконано в будь-якому графічному редакторі). Але при цьому, розмір загального зображення був встановлений 256 на 256 пікселів [9, 10].

Наступним етапом зображення було перетворено із кольорового в напівтонове з градацією в 256 рівнів.

Сегментація проводилася в кілька етапів, а саме: 1) виділення зображення об'єкту зразка тканини від зображення фону; 2) виділення зображення ураженої тканини від зображення здорової тканини; 3) об'єднання областей відблиску з областю зображення ураженої тканини.

При проведенні першого етапу використовувався метод нарощування областей [11–13] з подальшою інверсією фону до чорного або дуже темного рівня яскравості. Приклад результату даного етапу представлений на рис. 2.



Рис. 2. Приклад вхідного зображення в напівтоновому вигляді: а) без фону та б) з інвертованим фоном

Для проведення другого етапу сегментації зображень запропоновано застосувати метод сегментації за ознаками зв'язності.

Згідно з цим методом вхідне зображення представлено матрицею A^0 , елементи якої відповідають значенням яскравості відповідних пікселів зображення. На першому кроці значення всіх елементів зображення A^0 зменшуються на визначену дискретну величину d . Математично це виглядає як різниця двох матриць: вхідної A^0 і матриці D такої ж вимірності, всі елементи $d(m,n)$ якої мають однакові значення (наприклад, одиниця), що дорівнює кроку квантування [11–13].

$$A^0 - D = \begin{bmatrix} a(1,1) & a(1,2) & \dots & a(1,N) \\ a(2,1) & a(2,2) & \dots & a(2,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a(M,1) & a(M,2) & \dots & a(M,N) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} d(1,1) & d(1,2) & \dots & d(1,N) \\ d(2,1) & d(2,2) & \dots & d(2,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d(M,1) & d(M,2) & \dots & d(M,N) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} a^1(1,1) & a^1(1,2) & \dots & a^1(1,N) \\ a^1(2,1) & a^1(2,2) & \dots & a^1(2,N) \\ \mathbb{M} & \mathbb{M} & \mathbb{M} & \mathbb{M} \\ a^1(M,1) & a^1(M,2) & \dots & a^1(M,N) \end{pmatrix} = A^1.$$

де $d(1,1) = d(1,2) = \dots = d(M,N) = d$.

У відповідності з матрицею A^1 формується бінарна матриця B^1 (зріз) таким чином: якщо елемент матриці A^1 дорівнює нулю, то відповідний елемент зрізу B^1 отримує значення одиниці, всі інші елементи вказаного зрізу отримують значення нулів. Ці дії повторюються для матриці A^1 таким чином, як би це була вхідна матриця A^0 , а потім і для всіх отриманих матриць A^k . Процес триває до тих пір, поки всі елементи зрізів $B^1, B^2, \dots, B^K$ відповідних матрицям $A^1, A^2, \dots, A^K$ не приймуть нульові значення. Є очевидним, що кількість зрізів буде визначатися за формулою: $K = C/d$, де C – максимальний рівень яскравості зображення.

Для представленої структурної моделі сформуємо функцію, яка враховує просторовий взаємозв'язок елементів зображення. Для цього для кожного бінарного зрізу з одержаної сукупності обчислюється внутрішньозрізова зв'язність:

$$\Delta^k = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \{b^k(m+1,n) + b^k(m-1,n) + b^k(m,n+1) + b^k(m,n-1) + b^k(m+1,n+1) + b^k(m+1,n-1) + b^k(m-1,n-1) + b^k(m-1,n+1)\},$$

$$\forall b^k(m,n) = 1.$$

Отриманні результати можуть бути представлені у вигляді функції:

$$\Delta(k) = \Delta^1, \Delta^2, \dots, \Delta^{k-1}, \Delta_R^k, \Delta^{k+1}, \dots, \Delta^K,$$

де $\Delta(k)$ – функція внутрішньозрізової зв'язності.

Високі значення внутрішньозрізової зв'язності будуть означати, що елементи відповідного рівня яскравості представляють максимально зв'язану область. Функцію міжзрізової зв'язності можна розглядати як зв'язнісну характеристику зображення.

Наступний крок – це дослідження отриманої функції, а саме виявлення найбільш зв'язаних областей, тобто визначення глобального максимуму та локальних максимумів функції $\Delta(k)$. Це може бути представлено як: $\text{MAX}\{\Delta(k)\} = \Delta^{l_0}$, де Δ^{l_0} – максимальне значення внутрішньозрізової зв'язності, а $\text{MAX}\{\cdot\}$ – функція пошуку максимального значення.

Значення максимумів функції внутрішньозрізової зв'язності можна представити таким чином:

$$\Delta^{l_0} \geq \Delta^{l_1} \geq \Delta^{l_2} \geq \dots \geq \Delta^L,$$

де $\Delta_R^{l_0}, \Delta_R^{l_1}, \Delta_R^{l_2}, \dots, \Delta_R^L$ – значення максимумів функції внутрішньозрізової зв'язності зрізів за номерами $l_0, l_1, l_2, \dots, L$ відповідно. Причому $\{l_0, l_1, l_2, \dots, L\} \in \{1, 2, \dots, k, \dots, K\}$.

Для подальшого аналізу визначаються номери зрізів, яким відповідають максимуми. Таким чином, елементи бінарного зрізу B^{l_i} , що відповідає рівню яскравості c^{l_i} , становлять область, що максимально зв'язана на даному зображенні. Ці елементи відносяться до однієї з областей, що виділяється.

Формування функції міжзрізової зв'язності здійснюється для кожного зрізу та сусіднього з ним має вигляд:

$$\Delta^{k,k-1} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \{b^{k-1}(m+1,n) + b^{k-1}(m-1,n) + b^{k-1}(m,n+1) + b^{k-1}(m,n-1) + b^{k-1}(m+1,n+1) + b^{k-1}(m+1,n-1) + b^{k-1}(m-1,n+1) + b^{k-1}(m-1,n-1)\}.$$

$$\forall b^k(m,n) = 1.$$

Для зрізу $(k+1)$ формування $\Delta^{k,k+1}$ є аналогічним. Функція міжзрізової зв'язаності має вигляд:

$$\Delta'(k) = \Delta^{1,2}, \Delta^{2,3}, \dots, \Delta^{k-1,k}, \Delta^{k,k+1}, \Delta^{k+1,k+2}, \dots, \Delta^{K-1,K}.$$

Функція міжзрізової зв'язаності також є ознакою структурної моделі напівтонового зображення як і функція внутрішньозрізової зв'язаності. Проте, на відміну від функції внутрішньозрізової зв'язаності для аналізу міжзрізової цікавим є не вся гістограма, а її окремі дільниці. Процес вибору таких дільниць полягає в наступному. За початкові обираються зрізи, що є сусідні з тим зрізом, який має максимальну внутрішньозрізову зв'язаність. Тобто, якщо його номер дорівнює k , то сусідніми з ним будуть зрізи за номерами $k-1$ і $k+1$. Значення функції міжзрізової зв'язаності цих зрізів порівнюється з визначеним пороговим значенням. На підставі цього вирішується питання про належність елементів зрізів, що досліджуються до вихідної функції. Математично це виглядає так:

$$\text{якщо } \Delta^{k,k+1} \geq P_1 \Rightarrow B^{k+1} \in V(l_i), \quad (1)$$

$$\text{якщо } \Delta^{k,k-1} \geq P_2 \Rightarrow B^{k-1} \in V(l_i), \quad (2)$$

де P_1 і P_2 – відповідно перше та друге порогове значення.

Процес порівняння значень міжзрізової зв'язаності з кожним наступним сусіднім значенням триває до тих пір поки умова (1) або (2) не буде порушена. Процес може здійснюватись “ліворуч” і “праворуч” починаючи від зрізу з максимальним значенням внутрішньозрізової зв'язаності. Якщо умова (1) або (2) не виконується, то процес припиняється у даному напрямку. Таким чином, виділена область становить множину елементів, координати яких визначаються координатами одиничних елементів зрізів з підпороговою міжзрізовою зв'язаністю. Тобто $V(l_i) = \{ \dots U B^{k-1} U B^k U B^{k+1} U \dots \}$ – для бінарного вигляду.

Такі ж самі дії можуть бути використанні що до зрізів із локальними максимумами внутрішньозрізової зв'язаності. В результаті маємо множину зображень, що становлять окремі сегменти вхідного зображення. Приклад результату другого етапу сегментації наведений на рис. 3.

Третій етап сегментації передбачає об'єднання виділених областей, що відносяться до зображення ураженої тканини [14]. На цьому етапі необхідно скористатись апріорною інформацією, яку отримують в результаті обробки навчальної вибірки зображень, а саме: які з виділених областей мають бути об'єднані між собою. В більшій мірі це відноситься до об'єднання виділених областей з областями відблиску. Об'єднання проводилося на підставі порівняння значень зв'язаності областей, що об'єднуються з обчисленим пороговим значенням.

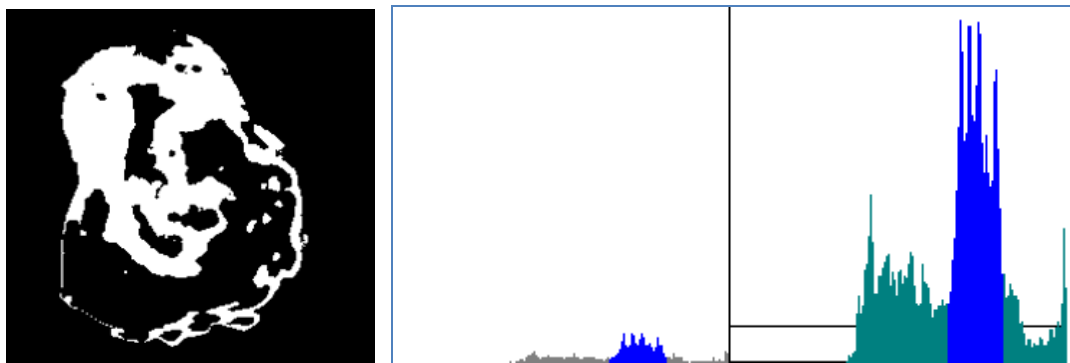


Рис. 3. Приклад результату другого етапу сегментації

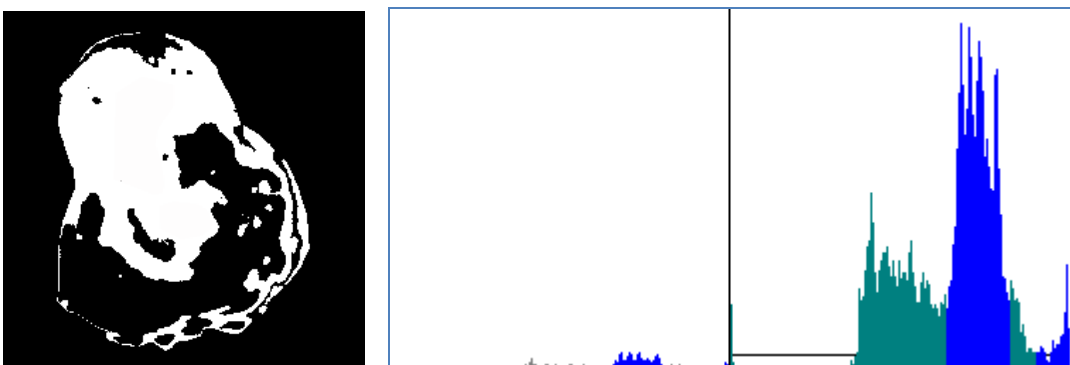


Рис. 4. Приклад зображення виділених областей ураженої тканини з областями відблиску та відповідних функцій міжзрізової та внутрішньозрізової зв'язаності

Експериментальні дослідження. Результати.

Приклад зображення виділених областей ураженої тканини з областями відблиску та відповідних

функцій міжзрізової та внутрішньозрізової зв'язності наведений на рис. 4.

Для проведення експериментальних досліджень була взята вибірка з 50 біомедичних зображень, що характеризують рівень флуоресценції пухлинної тканини із накопиченим барвником в момент опромінення лазерним випромінюванням, довжина хвилі якого співпадає із піком поглинання барвника. Кожне зображення було оброблено за вказаними методами, методом порогового обмеження. У результаті чого були отримані зображення виділених ділянок ураженої тканини за трьома методами.

Висновки

Таким чином розроблено метод та алгоритм обробки флуоресцентних зображень шляхом їх сегментації із покрововим виділенням уражених областей та областей відблиску. Деталізація методу та можливість контролю і корегування результату на кожному етапі обробки дозволяє максимально точно виділити уражені тканини. Це може у подальшому вплинути на якість проведення ФДТ та підвищити вибірковість процедури. Врахування областей відблиску при побудові зони опромінення дозволяє охопити пересвічені лазером зони та уникнути недоопромінених ділянок.

Експериментальні дослідження підтвердили високу достовірність розробленого методу сегментації зображення та ефективність виділення пухлинної тканини шляхом поетапної обробки флуоресцентної зони.

Література

1. Yoon I. Advance in photosensitizers and light delivery for photodynamic therapy / I. Yoon, J.Z. Li, Y.K. Shim // Clin Endosc. – 2013. – Vol. 46, № 1. – P. 7 – 23.
2. Agostinis P. Photodynamic therapy of cancer: an update / P. Agostinis, K. Berg, K.A. Cengel, T.H. Foster, A.W. Girotti et al. // CA Cancer J Clin. – 2011. – Vol. 61, № 4. – P. 250 – 281.
3. Allison R.R. Oncologic photodynamic therapy: clinical strategies that modulate mechanisms of action / R.R. Allison, K. Moghissi // Photodiagnosis Photodyn. Ther. – 2006. – Vol. 10, № 4. – P. 331–341.
4. Реалізація модифікованої фотодинамічної терапії з вибіркоким лазерним скануванням пухлини залежно від наявності флуоресценції / О. М. Чепурна, І. О. Штонь, С. В. Павлов, С. Є. Тужанський, А. Утрерас, В.С. Войцехович, В. Д. Попов, Є. В. Каптановський, В. В. Холін // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Приладобудування». – 2015. – Вип. 50(2). – С. 146–155.
5. Cherpurna O. Photodynamic therapy with laser scanning mode of tumor irradiation / Oksana Cherpurna, Irina Shton, Sergii Pavlov and others // Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications. – 2015, 98161F (17 December 2015); doi: 10.1117/12.2229030.
6. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва : Техносфера, 2005. – С. 1072.
7. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / Прэтт У. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с.
8. Сегментація напівтонових зображень : монографія / Скорюкова Я. Г., Железняк А. Л., Тимченко Л. І., Стасюк О. І., Марков С. М. – К. : ДЕТУ, 2008. – С. 144.
9. Біомедичні оптико-електронні інформаційні системи і апарати : навч. посіб. для студ. спец. "Лазер. та оптоелектр. техніка", "Біотехн. та мед. апарати ..." / С.В. Павлов, В.П. Кожем'яко, В.Г. Петрук, П.Ф. Колісник, С.М. Марков ; Вінниц. держ. техн. ун-т. – Вінниця : ВДТУ, 2003.
10. Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень : монографія / В.П. Кожем'яко, С.В. Павлов, К.І. Станчук. – Вінниця : Універсум, 2006. – 201 с.
11. Скорюкова Я. Г., Марков С. М. Структурно-зв'язностна модель кольорового зображення для задач сегментації / Я. Г. Скорюкова, С. М. Марков // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – № 2(22). – С. 169–175.
12. Тимченко Л.І., Скорюкова Я.Г. Метод покращення результатів сегментації гемоцитологічних зображень / Л.І. Тимченко, Я.Г. Скорюкова // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2003. – № 1-2 (5-6). – С. 46–49.
13. Тимченко Л.І. Сегментація зображень об'єктів за ознаками зв'язності для задач технічного зору / Л.І. Тимченко, Я.Г. Скорюкова, В.О. Тишківська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2004. – № 2. – С. 70–72.
14. Optoelectronic technology analysis of biomedical images : monography / [V. P. Kozhemiako, V.S. Pavlov, I.I. Burdeniuk, Rami Rebh Hamdi] – Vinnitsa : UNIVERSUM-Vinnitsa, 2012. – 174 p.

Рецензія/Peer review : 23.1.2016 p.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 p.
Рецензент: д.т.н., проф. Параска Г.Б.

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ З ЄМНІСНИМ ВОЛОГОЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ НА ОСНОВІ СТИБІЙ АБО БІСМУТВМІСНИХ ДІОКСИМАТІВ НІКОЛУ (II)

Розроблено перетворювач вологості з ємнісним елементом, в якому вологочутливий шар виготовлений на основі стибій або бісмутвмісних діоксидатів ніколу (II). Експериментально встановлено, що в діапазоні вологості $7 \div 30\%$ найчутливішим є перетворювач з ємнісним елементом, виготовленим на основі стибійвмісного діоксидату ніколу (II), що містить два атома стибію, чутливість якого складає $80 \text{ кГц}/\%$. В діапазоні вологості $30 \div 90\%$ спостерігається різке зменшення чутливості перетворювачів до $5 \text{ кГц}/\%$ незалежно від співвідношення атомів стибію чи бісмуту до ніколу, які входять до складу гетерометалевих комплексних сполук.

Ключові слова: перетворювач вологості, функція перетворення, рівняння чутливості.

A. V. OSADCHUK, L. V. KRYLIK, M. V. EVSEEVA, O. O. SELETSKA

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsa, Ukraine

MICROELECTRONIC INVERTER HUMIDITY CAPACITIVE MOISTURE SENSITIVE ELEMENT BASED ON ANTIMONY OR BISMUTH DIOKSIMAT NICKEL (II)

Abstract – The humidity sensor with a capacitive element wherein the moisture-sensitive layer is an antimony or bismuth dioksimat nickel (II) are designed. The most sensitive humidity transducer is the transducer with capacitive sensitive element based on dioksimat nickel (II), with two atoms of antimony in the range of $7 \div 30\%$ of humidity. Its sensitivity is $80 \text{ kHz}/\%$ for this range. The transducer's sensitivity decrease to $5 \text{ kHz}/\%$ regardless of the ratio of atoms of antimony or bismuth to nickel, which are part of heterometallic complex compounds, for humidity range $30 \div 90\%$.

Key words: humidity sensor, the conversion function, the function of the sensitivity.

Вступ

Необхідність виконання даної роботи виникла насамперед тому, що існуючі аналогові перетворювачі мають ряд недоліків, які неможливо усунути традиційними способами, тому існує потреба у застосуванні нового підходу, а саме у дослідженні залежності реактивних властивостей напівпровідникових структур з від'ємним опором від впливу відносної вологості навколишнього середовища, що дало змогу застосувати частотний принцип та технологію мікроелектроніки у вирішенні існуючої проблеми. Використання частотного принципу роботи насамперед підвищує завадостійкість та точність, дає змогу отримати значно більші вихідні сигнали ніж амплітудні перетворювачі та покращити як метрологічні так і економічні показники таких пристроїв. Крім того, використання ємнісного вологочутливого елементу значно розширить діапазон вимірювань, забезпечить високу надійність та низьку вартість при використанні мікроелектронної технології [1 – 6].

Теоретичні та експериментальні дослідження

Метою дослідження є розробка нового мікроелектронного перетворювача вологості з ємнісним вологочутливим елементом з широким діапазоном роботи в навколишньому середовищі (рис. 1).

Однак, розробку перетворювача вологості неможливо здійснити без дослідження залежності характеристик чутливого елементу від зміни вологості повітря, тому насамперед виникла необхідність в розробці фізико-математичної моделі вологочутливого елементу. Як вологочутливий шар, використано гетерометалеві комплексні сполуки – стибій або бісмутвмісні діоксидати ніколу (II), формули яких позначимо I – IV:

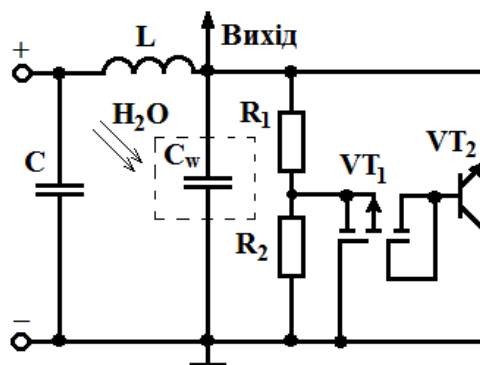
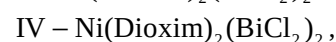
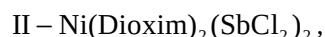
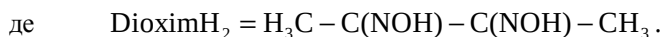
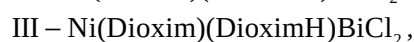
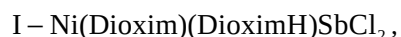


Рис. 1. Електрична схема частотного перетворювача вологості на основі біполярного та МДН транзисторів

Методика синтезу та фізико-хімічні властивості сполук I – IV наведені в роботі [7, 8]. Використані гетерометалеві комплексні сполуки I – IV практично нерозчинні в спиртах, ацетоні, бензені, погано розчинні в диметилформаміді і диметилсульфоксиді та є гігроскопічними і здатні змінювати забарвлення із зміною відносної вологості навколишнього середовища [7 – 9].

$$C = \left(\left(\frac{S_M s_{\hat{E}, \hat{N}}}{S_M s_{\hat{E}, \hat{N}} + \frac{Gc}{r_{H_2O}}} \right)^a \lg e_{\hat{E}, \hat{N}} + e_I + 1 + dk \left(\frac{p_s - AP(T - T_w)}{P - (p_s - AP(T - T_w))} \right) \right) \times$$

$$\times \left(1 - \left(\frac{S_M s_{\hat{E}, \hat{N}}}{S_M s_{\hat{E}, \hat{N}} + \frac{Gc}{r_{H_2O}}} \right)^b \right) \lg e_{H_2O} e_0 l [2A_1(N-1) + A_2], \quad (1)$$

де S_M – площа меандру, мм²; $s_{\hat{E}, \hat{N}}$ – товщина нанесеного шару комплексної сполуки, мкм; G – маса сухого повітря, г [10]; c – величина, яка враховує зв'язок між масовим відношенням води і тиском пари [10]; r_{H_2O} – густина води, г/см³; $e_{\hat{E}, \hat{N}}$ – діелектрична проникність комплексної сполуки; e_I – діелектрична проникність підкладки;

$d = \frac{M_{H_2O}}{M_{\Pi}}$ – відносна маса водяної пари по

відношенню до сухого повітря при однакових тисках і температурах [10];

$M_{H_2O} = 18,015$ – молярна маса водяної пари, г/моль [10];

$M_{\Pi} = 29$ – молярна маса сухого повітря, г/моль [10]; $k = 1 \div 5$; $b = 0,5 \div 1$ при умові,

що $a < b$; p_s – тиск насиченої пари при температурі T , Па; A – психрометрична стала, яка при $T_w = 20$ °C становить 0,00064;

P – тиск повітря 101325 Па, або 101,325 кПа (760 мм рт.ст.); T – температура навколишнього середовища, °C; T_w – температура вологого термометра, °C; e_{H_2O} – діелектрична проникність води; e_0 – діелектрична стала вакууму, Ф/м;

$A_1 = 3(d_f / a)^{0,25} (b / d_f)^{0,44}$; d_f – товщина підкладки, мм; l, a, b – величини, які враховують геометрію конденсатора, мм;

N – число секцій;

$A_2 = 0,77b / [(2N-1)(a+b)] + 0,41$ [9, 10].

На основі виразу (1) розраховано ємність вологочутливого елемента для вологочутливих шарів на основі гетерометалевих комплексних сполук I – IV за допомогою пакету прикладних програм «Matlab 7.1». На рис. 2 та рис. 3 надано теоретичні та експериментальні залежності ємності вологочутливого елемента на основі комплексних сполук від відносної вологості повітря в діапазоні 7 ÷ 27% та 30 ÷ 95% відповідно.

Експериментальні дослідження показали, що в діапазоні від 7 до 27% найчутливішим є ємнісний елемент виготовлений на основі гетерометалевої комплексної сполуки II, яка містить два атома стибію, чутливість якого складає 285 pF/%. В діапазоні відносної вологості 30 ÷ 75% залежність ємності від відносної вологості практично лінійна, а чутливість набуває значення 135 pF/%. Що стосується діапазону 75 ÷ 95%, то спостерігається різке зростання чутливості аж до 450 pF/% для всіх ємнісних елементів

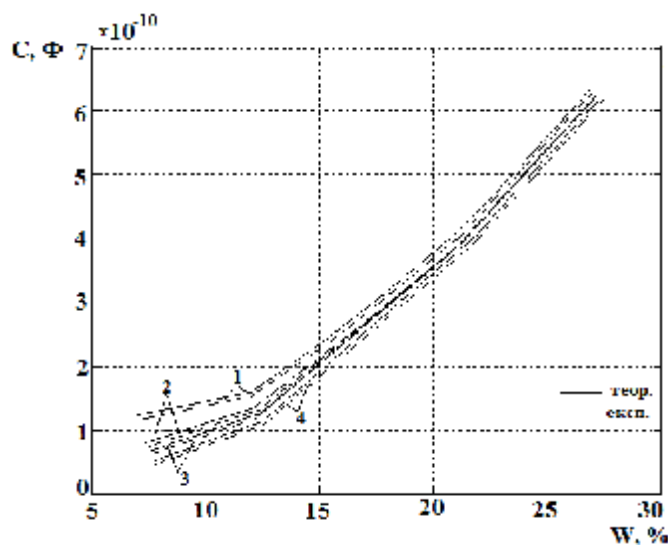


Рис. 2. Теоретичні та експериментальні залежності ємності від відносної вологості повітря в діапазоні 7 ÷ 27% для ємнісних елементів виготовлених на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

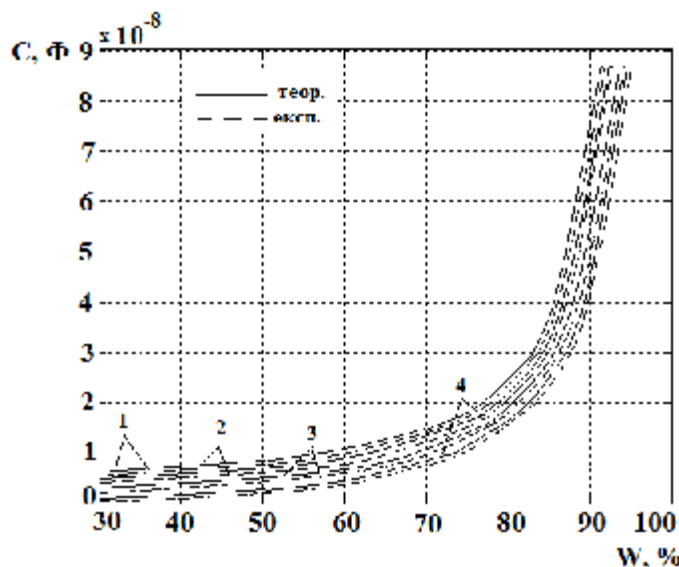


Рис. 3. Теоретичні та експериментальні залежності ємності від відносної вологості повітря в діапазоні 30 ÷ 95% для ємнісних елементів виготовлених на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

виготовлених на основі гетерометалевих комплексних сполук I – IV.

Як видно із графіка, теоретичні та експериментальні залежності мають добрий збіг. Адекватність математичної моделі можна оцінити за допомогою відносної похибки, яка складає $\pm 3,5\%$ [7].

Без знання параметрів перетворювача вологості неможливо його створити, тому розроблено математичну модель, на основі якої визначено функцію перетворення та рівняння чутливості. На рис. 4 подано перетворену високочастотну еквівалентну схему перетворювача вологості на основі біполярного та МДН транзисторів з ємнісним вологочутливим елементом на основі комплексних сполук (I – IV).

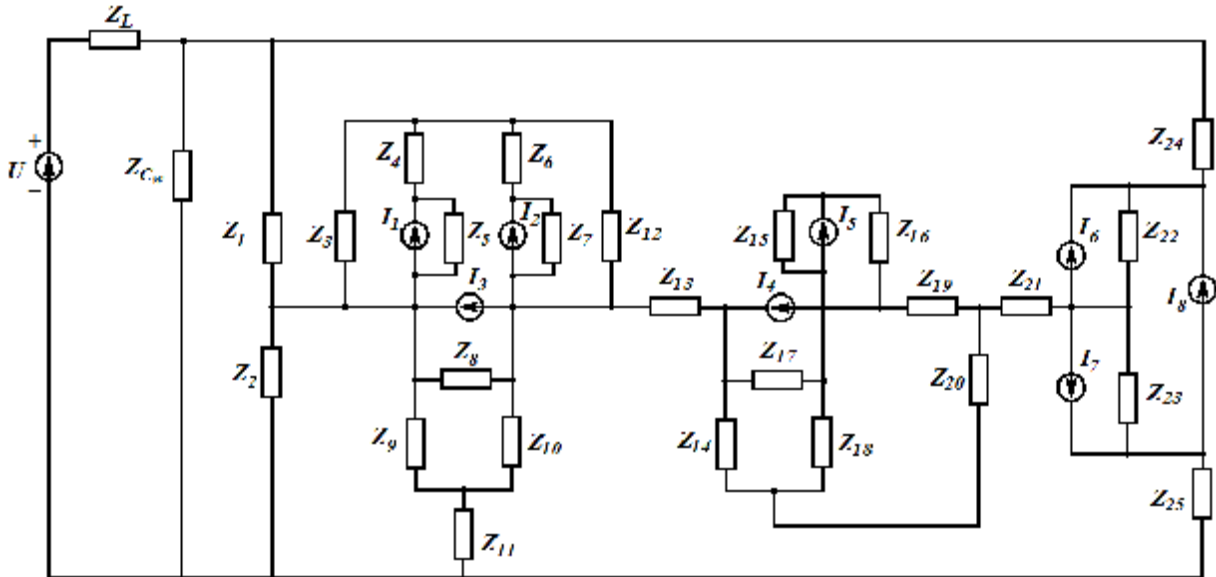


Рис. 4. Перетворена еквівалентна схема перетворювача вологості на основі біполярного та МДН транзисторів з ємнісним вологочутливим елементом на основі комплексних сполук

Елементи перетвореної еквівалентної схеми (рис. 4) описуються такими величинами:

$$\begin{aligned}
 Z_L &= j\omega L, & Z_{C_w} &= \frac{1}{j\omega C_w}, & Z_1 &= R_1, & Z_2 &= R_2, & Z_3 &= \frac{R_{p1}}{1 + \omega^2 R_{p1}^2 C_{pb1}^2} - j \frac{R_{p1}^2 \omega C_{pb1}}{1 + \omega^2 R_{p1}^2 C_{pb1}^2}, \\
 Z_4 &= RS1, & Z_5 &= \frac{1}{j\omega C_1}, & Z_6 &= RS2, & Z_7 &= \frac{1}{j\omega C_2}, & Z_8 &= R_{cb1}, & Z_9 &= \frac{1}{j\omega C_{zb1}}, \\
 Z_{10} &= \frac{1}{j\omega C_{zc1}}, & Z_{11} &= R_{z1} + R'_{z1} + j\omega L_{z1}, & Z_{12} &= \frac{1}{j\omega C_{pc1}}, & Z_{13} &= R_{cc}, & Z_{14} &= \frac{1}{j\omega C_{zb2}}, \\
 Z_{15} &= \frac{1}{j\omega C_3}, & Z_{16} &= RS3 - j \frac{1}{\omega C_{pc2}}, & Z_{17} &= R_{cb2}, & Z_{18} &= \frac{1}{j\omega C_{zc2}}, & Z_{19} &= R_{c2} + R'_{c2} + j\omega L_{c2}, \\
 Z_{20} &= R_{z2} + R'_{z2} + j\omega L_{z2}, & Z_{21} &= R_b + R'_b + j\omega L_b, & Z_{22} &= \frac{1}{j\omega C_e}, \\
 Z_{23} &= \frac{1}{j\omega C_k}, & Z_{24} &= R_e, & Z_{25} &= R_k + R'_k + j\omega L_k,
 \end{aligned}$$

де L – індуктивність коливального контуру; C_w – вологочутлива ємність; R_1, R_2 – опори дільника; R_p – опір підкладки; C_{pb} – ємність підкладка-витік; $RS1$ – об'ємний опір р-п переходу підкладка-витік; C_1 – ємність р-п переходу витіку; $RS2, RS3$ – об'ємні опори р-п переходу підкладка-стік; C_2, C_3 – ємність р-п переходу стоку; R_{cb} – опір стік-витік; C_{zb} – ємність затвор-витік; C_{zc} – ємність затвор-стік; R_z – опір електроду затвора; R'_z – омичний опір електроду затвора; L_z – індуктивність електроду затвора; C_{pc} – ємність підкладка-стік; R_{cc} – загальний опір стоку-витіку другого затвору двозатворного транзистора VT1; R_c – опір р-п переходу стоку; R'_c – омичний опір стоку; L_c – індуктивність електроду стоку; R_b – опір бази; R'_b – омичний опір базового електроду; L_b – індуктивність базового електроду; C_e – ємність емітерного переходу; C_k – ємність колекторного переходу; R_e – опір емітерного переходу; R_k – опір колекторного переходу; R'_k – омичний опір колекторного електроду; L_k – індуктивність колекторного електроду; I_3, I_4 – струми стоку-витіку; I_1 –

струм переходу підкладка-витік; I_2, I_5 – струми переходів підкладка-стік; I_6 – струм емітер-база транзистора VT1; I_7 – струм колектор-база транзистора VT1; I_8 – струм емітер-колектор транзистора VT1.

На основі перетвореної еквівалентної схеми (рис. 4) визначено аналітичний вираз функції перетворення:

$$F_0 = \frac{C_w(W)C_{zc1}C_{zc2}C_k \pm \sqrt{H1+H2+H3}}{4pLC_w(W)C_{zc1}C_{zc2}C_k}, \quad (2)$$

де $H1 = C_w^2(W)C_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2 + 4LC_w^2(W)C_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2$; $H2 = 4LC_w^2(W)C_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2 + 4LC_w(W)C_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2$; $H3 = 4LC_w^2(W)C_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2$.

На основі виразу (2) теоретично розрахована та експериментально досліджена функція перетворення перетворювача на основі біполярного та МДН транзисторів з ємнісним вологочутливим елементом на основі комплексних сполук, що подана на рис. 5.

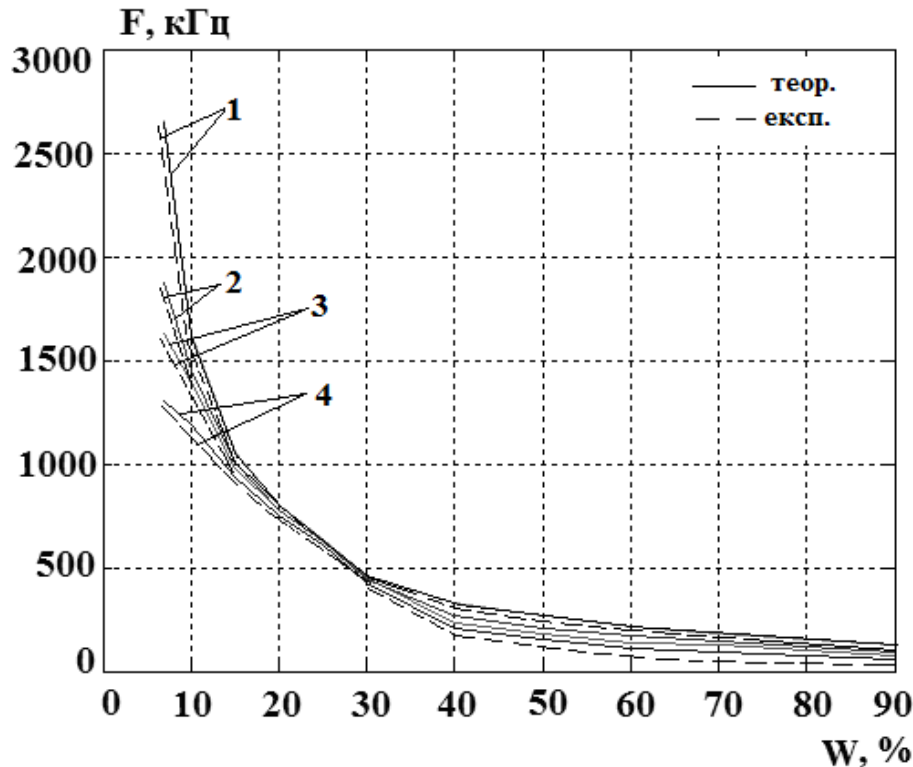


Рис. 5. Експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації від впливу відносної вологості навколишнього середовища перетворювача з ємнісними елементами виготовлених на основі комплексних сполук: 1 – III; 2 – IV; 3 – I; 4 – II

На основі рівняння (2) визначено аналітичний вираз (3), який описує функцію перетворення розробленого перетворювача.

$$S_w^{F_0} = - \frac{C_w(W)C_{zc1}C_{zc2}C_k \pm \sqrt{H1+H2+H3} \left(\frac{\partial C_w(W)}{\partial W} \right)}{4pLC_w^2(W)C_{zc1}C_{zc2}C_k} + \frac{\left(\frac{\partial C_w(W)}{\partial W} \right) G1 \pm \frac{G2 \left(\frac{\partial C_w(W)}{\partial W} \right) + G3 \left(\frac{\partial C_w(W)}{\partial W} \right) + G4 \left(\frac{\partial C_w(W)}{\partial W} \right) + G5 \left(\frac{\partial C_w(W)}{\partial W} \right) + G6 \left(\frac{\partial C_w(W)}{\partial W} \right)}{2\sqrt{H1+H2+H3}}}{4pLC_w(W)C_{zc1}C_{zc2}C_k}, \quad (3)$$

де $G1 = C_{zc1}C_{zc2}C_k$; $G2 = 2C_w(W)C_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2$; $G3 = 8LC_w(W)C_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2$; $G4 = 8LC_w(W)C_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2$; $G5 = 4LC_{zc1}^2C_{zc2}^2C_k^2$; $G6 = 8LC_w(W)C_{zc1}C_{zc2}^2C_k^2$.

Висновки

Розроблено математичну модель частотного перетворювача з ємнісним вологочутливим елементом на основі стибій або бісмутовмісних діоксидів ніколу (II), який складається з біполярного та МДН транзисторів. Експериментально доведено, що природа гетерометалевої комплексної сполуки суттєво

впливає на чутливість сенсора вологості та частотного перетворювача в цілому. На основі перетвореної еквівалентної схеми отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості.

Проведено дослідження електричних параметрів частотного перетворювача та розраховано їх теоретичні залежності. Експериментально встановлено, що в діапазоні вологості $7 \div 30\%$ найчутливішим є перетворювач з ємнісним елементом, виготовленим на основі стибиївмісного діоксиду ніколу (II), що містить два атома стибію, чутливість якого складає $80 \text{ кГц}/\%$. В діапазоні вологості $30 \div 90\%$ спостерігається різке зменшення чутливості перетворювачів до $5 \text{ кГц}/\%$ не залежно від співвідношення атомів стибію чи бісмуту до ніколу, які входять до складу гетерометалевих комплексних сполук.

Аналіз проведених теоретичних і експериментальних досліджень показав, що математична модель описує поведінку перетворювача з похибкою $\pm 3\%$.

Література

1. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем : монографія / [В. С. Осадчук, О. В. Осадчук]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 1999. – 275 с.
2. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором : монографія / [О. В. Осадчук]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2000. – 303 с.
3. Бабаян Р. Р. Преобразователи неэлектрических величин с частотным выходом / Р. Р. Бабаян // Приборы и системы управления. – 1996. – № 11. – С. 24 – 26.
4. Сенсори вологості : монографія / [В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2003. – 208 с.
5. Бутурлин А. И. Микроэлектронные датчики влажности / А. И. Бутурлин, С. А. Крутоверцев, Ю. Д. Чистяков // Сборник обзоров. Зарубежная электронная техника. – 1984. – № 9. – С. 3 – 54.
6. Маргелов А. Датчики влажности компании Honeywell / А. Маргелов // Chip News. – 2005. – № 8(101). – С. 40 – 42.
7. Осадчук О. В. Ємнісні сенсори вологості на основі стибиї або бісмутвмісних діоксидів ніколу (II) / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1(221). – С. 131 – 135.
8. Гандзий М. В. Сурьму- или висмутсодержащие диоксиматы никеля (II) или меди (II) / М. В. Гандзий, В. И. Цапков, Н. М. Самусь // Журнал неорганической химии. – 1991. – Т. 36, вып. 9. – С. 2297 – 2300.
9. Осадчук В. С. Ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2(12). – С. 222 – 227.
10. Аш Ж. Датчики измерительных систем / Ж. Аш. – М. : Мир, 1992. – 424 с.

Рецензія/Peer review : 15.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Петрук В. Г.

І.Р. ПАРХОМЕЙ
Державний університет телекомунікацій
Ю. М. БОЙКО, О.І. ЄРЬОМЕНКО
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Розроблено структурну схему моделі обробки сигналів у радіотехнічній системі дистанційного зондування Землі. Формалізовано процес функціонування радіотехнічної системи дистанційного зондування Землі з багатопозиційним прийомом радіолокаційної інформації в операторній формі. Для аналітичного опису процесу часової та просторової обробки сигналів і просторово-часових операцій у розглянутих системах введено оператор «взаємодіючого» середовища. Аналітично досліджено процес виявлення сигналу від елементу поверхні Землі радіолокаційними засобами. Синтезовано апіорні щільності розподілу ймовірностей сигналів і шумів на входах приймачів радіолокаційної системи, які дозволяють оцінювати ефективність використаних способів і пристроїв захисту від завад.

Ключові слова: зондувальний сигнал, апертура, оператор, цільова функція виявлення.

I.R. PARHOMEY
State University of Telecommunications
J.M. BOIKO, A.I. EROMENKO
Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT MODELS OF SIGNAL PROCESSING RADAR REMOTE SENSING

Abstract - The block diagram model signal processing in radio systems for remote sensing. Formalized process of functioning of electronic remote sensing technique multiposition radar information in operator form. For analytical description of the process of temporal and spatial signal processing and spatial-temporal operations in the systems operator entered "interacting" environment. Analytical research process signal detection element of the Earth's surface radar means. Synthesized a priori probability distribution density signal and noise at the receiver input radar systems are used to assess the effectiveness of methods and devices of protection against noise.

Keywords: probing signal, aperture, operator, target detection function.

Вступ

В багатопозиційних радіолокаційних системах з синтезуванням апертури антени (РСА) використовується одна передавальна позиція, що рухається за обраною траєкторією і забезпечує підсвітлювання заданої зони огляду. Взаємно незалежні прийомні позиції, які використовують відбиті сигнали, формують радіолокаційні засоби (РЛЗ) об'єктів розташованих у зоні огляду. Число прийомних позицій і траєкторії їх руху визначаються специфікою завдань які слід розв'язати. При багатопозиційному режимі РСА можливе використання одночасно багатьох систем, що працюють тільки в режимі приймання, при одній передавальній позиції, яка опромінює задану зону моніторингу. Відсутність випромінювання в таких приймальних позиціях РСА підвищує скритність їх роботи. При цьому значно знижується маса і енергоспоживання прийомних позицій. Однак одночасно підвищуються вимоги до потужності випромінювання передавальної позиції, так як вона перебуває на значному віддаленні. Більша висота польоту передавальної позиції забезпечує зменшення радіолокаційних тіней [1].

Процес отримання та обробки інформації в радіотехнічних системах дистанційного зондування Землі з багатопозиційним прийомом радіолокаційної інформації (РТС ДЗЗ БПП РЛІ) в операторній формі можна представити структурною схемою, що наведена на рис. 1 [2, 3].

В схемі під багатоелементним передавачем і приймачем розуміється сукупність всіх передавальних і приймальних пристроїв РТС ДЗЗ БПП РЛІ. Управління вибором передавальної РЛС і тривалістю її роботи на випромінювання здійснюється з пункту збору та обробки радіолокаційної інформації (ПЗОРЛІ) радіокомандами управління $U(i, t_{упр,к})$.

На схемі позначено: $N_0(t, D)$ – локальне джерело шуму (завад), що розташоване у точці D ; S_D – корисний сигнал, що несе інформацію про об'єкт моніторингу; S_I – сигнали і шуми (завади), що заважають; N_{cp} – шум середовища (шумове поле навколо передавача і приймачів, яке безперервне в часі і у просторі); N_p – завади, породжені сигналом; N_c – власні шуми системи; $\{u\}$ – множина типів сигналів РТС ДЗЗ БПП РЛІ; $\{f_n\}$ – множина несучих частот (літерів); $S^0(t)$ – зондувальний сигнал; $V_m(t) = S_m(t) + N(t)$ – сигнал, прийнятий m -ю приймальною РЛС; $S_m(t)(N(t))$ – корисний сигнал (завади) на вході каналу обробки m -ї РЛС; n – множина прийнятих рішень.

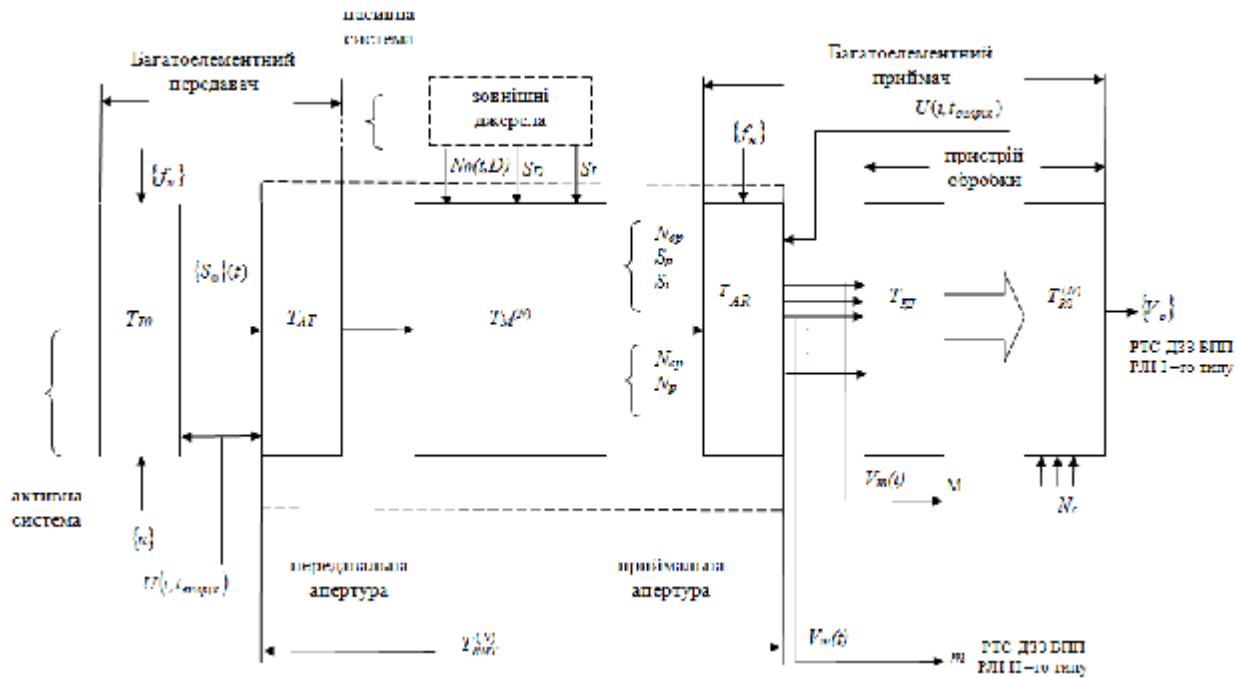


Рис. 1. Структурна схема моделі обробки сигналів у РТС ДЗЗ БПП РЛІ

Функціонування РТС ДЗЗ БПП РЛІ в операторній формі правомірно записати у вигляді:

а) якщо на передавальній позиції використовується РЛС із фазованою антенною решіткою (ФАР), а на прийомних позиціях багатопроменеві РЛС (РТС ДЗЗ БПП РЛІ І-типу), тоді отримаємо:

$$\{V_p\} = T_R^{(N)} T_M^{(N)} T_T \{u\} = T^{(N)}_{R0} T_{FD} (T_{AR} T_M^{(N)} T_{AT}) T_{T0} \{u\}, \quad (1)$$

де T_T , $T_M^{(N)}$, $T_R(N)$ – оператори, що описують відповідно процеси випромінювання, поширення в середовищі і прийому сигналів. Індекс (N) означає, що у відзначені частини каналу якимось чином вводиться шум; T_{mo} – оператор, що описує процес вибору випромінюваного сигналу; $T^{(N)}_{R0}$ – оператор, що описує часову обробку інформації; T_{FD} – оператор, що описує процес фокусування за дальністю сигналів, прийнятих елементами системи; T_{AR}, T_{AT} – оператори, що описують передавальну і приймальну синтезовану апертуру відповідно;

б) якщо на передавальній позиції використовується РЛС із ФАР, а на приймальних позиціях – однопроменеві РЛС (РТС ДЗЗ БПП РЛІ ІІ-типу), то отримаємо:

$$\{V_p\} = T_{Rm}^{(N)} (T_{ARm}) T_{Ti} \{u\} = T_{Rm}^{(N)} (T_{ARm} T_M^{(N)} T_{ATi}) \{u\}, \quad (2)$$

де індекс i відноситься до номеру передавальної РЛС, яка працює на випромінювання протягом інтервалу $t \in (0, t_{\text{випр}, i, \kappa})$, а індекс m відноситься до працюючих на прийом РЛС, у тому числі і до пристрою обробки сигналів передавальної РЛС.

Оскільки оператори T_{AT} і T_{AR} поєднують як часову, так і просторову обробку, то для опису всіх просторово-часових операцій у розглянутих систем можна виділити оператор «взаємодіючого» середовища:

$$T_{RMT}^{(N)} = T_{ARm} T_M^{(N)} T_{ATi}. \quad (3)$$

У випадку, коли використовуються системи зондування Землі, в структурі яких, на передавальній позиції застосовуються РЛС із фазованою антенною решіткою (ФАР), а на прийомних – багатопроменеві РЛС, найбільший інтерес представляє оператор приймальної синтезованої апертури системи:

$$\vec{T}_{AR} = \sum_{m=1}^M T_{ARm}, \quad (4)$$

що описує процес утворення в пристрої спільної обробки радіолокаційної інформації (ПЗОРЛІ) векторної суми сигналів окремих апертур відносно інтервалу випромінювання ЕМХ відповідної передавальної РЛС:

$$S(t \in (0, t_{\text{випр}, i, \kappa})) = \sum_{m=1}^M S_m(t \in (0, t_{\text{випр}, i, \kappa})). \quad (5)$$

Запам'ятовуючи на якийсь час амплітуду і фазу сигналу, прийнятого m -ю апертурою, і вводячи їх корекцію, можна одержати для кожного каналу дальності деякий синтезований розкритв приймальних антен РТС ДЗЗ БПП РЛІ. Величина затримки у формуванні синтезованого розкритву приймальних антен системи визначається часом проходження відбитого від об'єкту моніторингу сигналу до самої віддаленої РЛС і часом його передачі по лінії зв'язку в ПЗОРЛІ.

Під синтезованим розкритвом приймальних антен РТС ДЗЗ БПП РЛІ розуміється такий

еквівалентний розкриття, що забезпечує формування діаграми спрямованості, яка відповідає векторній сумі сигналів (4), отриманої на виході ПЗОРЛП для кожного каналу окремо. Основною проблемою в даному випадку є формалізація математичної моделі цифрового оброблення процесу приймання сигналів у радіотехнічних системах дистанційного зондування Землі з багатопозиційним прийомом радіолокаційної інформації. Саме вирішенню зазначеної актуальної проблеми присвячена стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та розробка питання формалізації математичної моделі цифрового оброблення процесу приймання сигналів

Фокусування сигналів за дальністю (оператор T_{FD}) еквівалентно фокусуванню синтезованого розкриття в точку знаходження виявленого об'єкта моніторингу [3].

Структура оператора T_{ARm} , що входить в (3), визначається із просторового опису радіолокаційного сигналу як хвилі на вході m -ї РЛС системи. Оскільки поляризаційна структура хвилі практично не впливає на визначення координат об'єкта [4], можна обмежитися скалярним представленням хвилі і вважати, що приймальні антени настроєні на поляризацію хвилі передавальної РЛС.

Просторові характеристики m -ї РЛС системи описуються комплексною ДСА $G(u_x, u_y)$, де u_x, u_y - направляючі косинуси кутів [4].

Для дальньої зони хвиля елементарної поверхні антени із центром у точці (x, y) описується виразом [4]

$$dS(x, y, D, t) = \sqrt{1 - u_x^2 - u_y^2} G(x, y) \frac{E_D}{4\pi D} \times \exp\left\{j2\pi\left(f \pm F_D\left(t - \frac{2D}{c}\right)\right)\right\} d_x d_y, \quad (6)$$

де $\sqrt{1 - u_x^2 - u_y^2} = u_z$ - направляючий косинус, що відлічується відносно нормалі до розкриття антени; E_D - напруженість електричного поля відбитого сигналу S_D ; $D = D_0 + Dt - xu_x - yu_y - x\dot{u}_x t - y\dot{u}_y t$ - поточна дальність до об'єкта моніторингу відносно розглянутої РЛС.

Не враховуючи шумову складову вхідного впливу ($N_{cp}(t, D)=0$) і вважаючи, що власний шум широкопasmовий і гаусівський ($N_c \neq 0$), отримуємо на виході антени m -ї РЛС сигнал, який описаний оператором T_{ARm}

$$S_m(t) = T_{AR}\{S_D\} = \frac{u_z}{4\pi D_{um}} \int_{Lxm} \int_{Lym} d_x d_y \int_{-\infty}^{\infty} G(x, y) E_{Dum} \times \exp\{j2\pi(f_n \pm F_{Dm})(t - \tau_m)\} d\tau_m, \quad (7)$$

де L_x, L_y - розміри приймальної апертури m -ї РЛС по осях x і y ; $\tau_m = \frac{D_{um}}{c}$ - час затримки відбитого сигналу відносно m -ї РЛС.

Оператор фокусування за дальністю T_{FD} має вигляд

$$T_{FD}\{V_m\} = V_m \exp^{j\Delta f_{Fm}}, \quad (8)$$

де Δf_{Fm} - фазовий зсув між сигналами, прийнятими основною і m -ю допоміжною РЛС; V_m - амплітуда сигналу на виході антени m -ї РЛС.

Оператор T_{AT} визначається на основі принципу взаємності

$$T_{AT}\{S^0\} = S_D = \frac{u_z}{4\pi D_{ui}} \int_{Lxi} \int_{Lyj} d_x d_y \int_{-\infty}^{\infty} G(x, y) E_{Dum} \times \exp\{j2\pi f_n(t - \tau_i)\} d\tau_i, \quad (9)$$

де E_{Dui}^0 - напруженість електричного поля випромінюваного i -ю передавальною РЛС сигналу

$S^0 \in \{u\}$; $\tau_i = \frac{D_{ui}}{c}$ - затримка сигналу відносно i -ї передавальної РЛС.

Оператор $T_M^{(N)}$ у загальному виді визначається виразом [4]

$$T_M^{(N)}\{\cdot\}_{Pj} = S_D = \int H_P \left\{ \frac{t - \tau_{ij}}{D_{uij}}, \frac{t - \tau_{mj}}{D_{uij}} \right\} \{\cdot\}_{t-\tau}, \quad (10)$$

де $H\{\cdot\}$ - деякий лінійний фільтр, визначений характеристиками j -го відбивача поверхні; $D_{ui(m)j}$ -

дальність j -го об'єкта відносно i -ї (m -ї) РЛС.

Оператор $T_M^{(N)}$ може бути як детермінованим, так і описувати випадкові ефекти, наприклад, завмирання, затримки при поширенні радіохвиль і т.п.

Час перетворення (формування, генерування, прийому, обробки і прийняття рішень) кожним оператором визначає довжину відповідної дуги граф-моделі системи зондування. Показники ефективності обробки сигналів (оператори T_{R0} , T_{Rm}) в системах різних рівнів визначаються довжинами маршрутів відповідних цільових функцій виявлення (контурів графа, що не мають загальних ребер) [5–7].

Формалізація процесу виявлення сигналу від елементу поверхні Землі радіолокаційними засобами

Довжини маршрутів цільових функцій виявлення сигналів від елементів поверхонь об'єктів моніторингу $l_{\phi o}$ визначаються сумою дуг [7]:

- для основної РЛС:

$$l_{\phi o} = e_1 + e_2 + e_3^1, \quad (11)$$

- для m -ї допоміжної РЛС:

$$l_{\phi o m} = e_1 + e_2^1 + e_c + e_4^1, \quad (12)$$

- для ПСОРЛІ:

$$l_{\phi o n} = \begin{cases} e_1 + e_2 + e_3 + e_5; \\ e_1 + e_2^1 + e_4 + e_5 + e_c; \\ e_1 + e_2 + e_3 + e_2^1 + e_4 + e_5; \end{cases} \quad (13)$$

В ідеальному випадку виявлення сигналу від елементу поверхні Землі кожною із РЛС здійснюється за одним прийнятим імпульсом. При цьому довжини дуг дорівнюють: $e_1 = e_2 = D_{\phi o} / 3$, $e_2^1 = D_{\phi m} / 3$, $e_3^1 (e_4^1) = t_{обр}$ (час, що витрачається на обробку прийнятого сигналу і прийняття рішення), $e_5 = e_7 = t_{обр}$. Довжина дуги e_c визначається часом, що витрачається на синхронізацію РЛС. Якщо в системі здійснюється двоетапна просторово-часова синхронізація [6, 7], то за рахунок введення попередження у видачі координат і автоматичного врахування бази у цільових функціях виявлення (12) і (13) довжину дуги e_c можна прийняти рівною нулю.

Якщо в кожній РЛС здійснюється цифрова обробка, $t_{обр} \ll D_{\phi o(m)} / c$, то і часом $t_{обр}$ можна знехтувати.

Тоді мінімальна довжина маршрутів цільових функцій виявлення складе:

$$\begin{aligned} l_{\phi o \min} &= 2D_{\phi o} / c; \\ l_{\phi o m \min} &= D_{\phi o} / c + D_{\phi m} / c; \\ l_{\phi o n \min} &= D_{\phi o} / c + D_{\phi m} / c + \max \left\{ \frac{d_{n\phi}}{c}, \frac{d_{nm}}{c} \right\}, \end{aligned}$$

де $d_{n\phi} (d_{nm})$ – змінна відстань (база) між РЛС і ПСОРЛІ.

Однак, для забезпечення необхідної ефективності виявлення $P_{виявл} > P^*$, необхідно здійснювати накопичення енергії декількох (K_n) відбитих імпульсів. Причому, для кожної РЛС K_n може бути різним. Це означає, що дуги, які описують випромінювання і прийом сигналів, збільшуються на величину $(K_n - 1)T_n$:

$$\begin{aligned} l_{\phi o} &= (K_{n\phi} - 1)T_n + 2D_{\phi o} / c; \\ l_{\phi o m} &= (K_{n\phi} - 1)T_n + D_{\phi o} / c + D_{\phi m} / c; \\ l_{\phi o n} &= (K_{n\phi} - 1)T_n + D_{\phi o} / c + D_{\phi m} / c + \max \left\{ \frac{d_{n\phi}}{c}, \frac{d_{nm}}{c} \right\}, \end{aligned}$$

де $K_{n\phi}$ – кількість імпульсів, випромінюваних РЛС з імовірністю P^* .

Якщо за опорну (базову) довжину маршруту функції виявлення прийняти $l_{\phi o}$, то тоді нормовані довжини маршрутів цільових функцій виявлення запишуться у вигляді:

$$l_{\phi o} = 1; \quad (14)$$

$$l_{\phi o m} = \frac{(K_{n\phi} - 1)T_n C + D_{\phi o} + D_{\phi m}}{(K_{n\phi} - 1)T_n C + D_{\phi o}}; \quad (15)$$

$$I_{\text{фон}} = \frac{(K_{\text{не}} - 1 - K_{\text{неп}}^1)T_n C + D_{\text{цв}} + D_{\text{цт}} + \max\{d_{\text{не}}, d_{\text{цт}}\}}{(K_{\text{не}} - 1)T_n C + 2D_{\text{цв}}}. \quad (16)$$

Варто враховувати, що результат накопичення $K_{\text{не}}$ відбитих імпульсів буде неоднаковим для кожної РЛС системи, оскільки через неоднакову потужність прийнятих сигналів відношення сигнал/шум на виходах їх приймачів буде різним.

Для такої геометрії системи, коли $D_{\text{цт}} < D_{\text{цв}}$, за інших рівних умов для одержання однакового значення $P_{\text{виявл}}$ m -ї РЛС найімовірніше буде потрібна менша кількість імпульсів $K_{\text{не}}$, що накопичуються. Але, оскільки при багатопозиційному прийомі радіолокаційної інформації, кількість імпульсів, що накопичуються, у кожному кутовому напрямку задається основною РЛС, то у допоміжних РЛС (ПЗОРЛІ) накопичення сигналу для одержання такого ж відношення сигнал/шум, як на основній РЛС, настає на $K_{\text{неп}}^1 (K_{\text{неп}}^1)$ імпульсів раніше, тобто за більш короткий час:

$$I_{\text{фон}} = \frac{(K_{\text{не}} - 1 - K_{\text{неп}}')T_n C + D_{\text{цв}} + D_{\text{цт}}}{(K_{\text{не}} - 1)T_n C + D_{\text{цв}}}, \quad (17)$$

$$I_{\text{фон}} = \frac{(K_{\text{не}} - 1 - K_{\text{неп}}^1)T_n C + D_{\text{цв}} + D_{\text{цт}} + \max\{d_{\text{не}}, d_{\text{цт}}\}}{(K_{\text{не}} - 1)T_n C + 2D_{\text{цв}}}. \quad (18)$$

Значення $K_{\text{неп}}^1$ і $K_{\text{неп}}^1$ знаходяться для конкретних вихідних даних за залежностями необхідного відношення сигнал/шум від числа проінтегрованих імпульсів.

Таким чином, розроблена модель функціонування РТС ДЗЗ БПП РЛІ для різних типів його реалізації дозволяє відокремити чисто часову обробку сигналів від просторово-часових операцій, обумовлених характеристиками антен і фізичними властивостями конкретного середовища між передавачем (основною РЛС), j -м повітряним об'єктом і M -елементним приймачем (допоміжними РЛС), і на цій основі для кожного T_n при i -му типі формувати деякий еквівалентний розкрит приймальних антен системи зондування і здійснювати його фокусування в частині зони моніторингу.

Модель дозволяє враховувати вплив різного роду завад на окремі РЛС системи, а також дозволяє оцінювати ефективність використаних способів і пристроїв захисту від завад.

Крім того, вона дозволяє встановлювати зв'язок між показниками ефективності обробки сигналів і технічними характеристиками об'єднаних у систему РЛС із заданою геометрією системи.

При застосуванні РТС ДЗЗ БПП РЛІ І-го типу зв'язок M -елементного пристрою (пункту) спільної обробки ІС із середовищем у межах області проведення спільного огляду здійснюється за допомогою M рознесених у просторі приймальних антен.

Так як вхідний сигнал кожної антени окремо впливає на пристрій спільної обробки $T_{(N)R0}$, оператор можна представити як M -мірний вектор з компонентами, пронумерованими відповідно до положення приймальних антен у просторі.

Корисний сигнал, що надходить на вхід пристрою спільної обробки $T_{(N)R0}$, можна записати у вигляді:

$$s(t) = \dot{T}_{AR} \{N_{cp}(t, D_D)\} = \dot{T}_{AR} \{T_M^{(N)} \{N_0(t, D) \otimes S_D\}\}, \quad (19)$$

де символ $\otimes$ читається «у комбінації з...».

У загальному випадку прийнятий сигнал має вид:

$$V(t) = S(t) \otimes N(t), \quad (20)$$

де шум представимо аналітично наступним чином:

$$N(t) = \dot{T}_{AR} \{N_{cp}(t, D_D)\} + N_c. \quad (21)$$

Шуми системи N_c стосовно приймача m -ї РЛС виражаються через шуми антенно-хвильовідного тракту в лінійній частині приймача. Додатковий шум може виникнути в пристрої обробки, однак він малий у порівнянні з N_c і його можна не враховувати. Тому пристрій спільної обробки можна вважати безшумним і в T_{R0} індекс (N) можна опустити.

У більшості випадків, що представляють інтерес, середовище є адитивним, і операція може бути замінена сумою:

$$V(t) = \begin{cases} S(t) + N(t), & \text{якщо } S \neq 0 \\ N(t), & \text{якщо } S = 0 \end{cases}. \quad (22)$$

Умовна щільність розподілу імовірності суміші сигналу із шумом, що надходить на вхід T_{R0} у припущенні, що $S(t) > 0$, записується у вигляді:

$$\omega_L(V/S) = \omega_L(V - S)_N, \quad (23)$$

де $\omega_L(\cdot)_N L$ – спільна щільність розподілу ймовірності L -компонентного вектора ($L=M \times n$), для дискретизованого за часом векторного процесу N , визначеного співвідношенням (21).

$$N = [N_m(t_s)] (S = \overline{1, n}; m = \overline{1, M}). \quad (24)$$

На додаток до описаних навколишніх шумових полів і шумів системи можуть мати місце шумові поля, що породжуються сигналом (розсіювання, багатопроменеве поширення і розсіювання від однієї або декількох блискучих точок об'єкта). У випадку адитивності середовища, залежну від сигналу, частку можна представити у вигляді суми трьох складових:

$$T_{MA}^{(N)}\{j\} = T_M^{(N)}\{j\}_p + T_M^{(N)}\{j\}_{\delta n} + T_M^{(N)}\{j\}_u, \quad (25)$$

де індекси p , δn , u означають частку шумів, що припадають відповідно на розсіювання, багатопроменеве поширення і відбиття від об'єктів моніторингу.

Компонента $T_M^{(N)}\{j\}_p$, яка діє на хвилю, що поширюється в середовищі, є характеристикою джерела завад.

У компоненті $T_M^{(N)}\{j\}_{\delta n}$ в загальному випадку міститься корисна інформація про об'єкт, однак в існуючих РЛС вона практично не задіяна. Компонента $T_M^{(N)}\{j\}_u$ описує вхідні сигнали приймача.

Таким чином, на вході ПЗОРЛІ векторні шумові і сигнальні процеси описуються наступними виразами

$$T(t) = \dot{T}_{AR}(N_{cp}) + N_c + \dot{T}_{RMT}(S^0)_p + T_{RMT}T_{T0}(S^0)_{\delta n}, \quad (26)$$

$$S(t) = T_{RMT}\dot{T}_{T0}(S^0)_u; \quad (27)$$

на вході приймача i -ї РЛС:

$$N_i(t) = \dot{T}_{ARi}\{N_{cp}\}_i + \dot{T}_{RMTi}\{S^0\}_p + \dot{T}_{RMT}T_{T0i}\{S^0\}_{\delta n}, \quad (28)$$

$$S_i(t) = \dot{T}_{RMTi}T_{T0i}\{S^0\}_u, \quad (29)$$

де N_i – шум антенно-хвильоводної і лінійної частини приймача i -ї РЛС.

$$N_m(t) = \dot{T}_{ARm}\{N_{cp}\}_m + N_m + \dot{T}_{RMTm}\{S^0\}_p + \dot{T}_{RMTm}T_{T0i}\{S^0\}_{\delta n}; \quad (30)$$

$$S_i(t) = \dot{T}_{RMTm}T_{T0i}\{S^0\}_u, \quad (31)$$

де N_m – шуми антенно-хвильоводної і лінійної частини приймача m -ї РЛС.

Апріорні щільності розподілу ймовірностей сигналів і шумів на входах приймачів РЛС системи записуються у вигляді:

а) для шуму:

$$\omega_{Nm} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{Nm}} \exp(-N_m^2 / 2\sigma_{Nm}^2), \quad (32)$$

де $N_m = [N_{mj}]$ – вектор напруги шуму на вході приймача m -ї РЛС, вимірюваного в j -ї ($j = \overline{1, Z}$)

моменти часу $t_j \in (0, t_{\text{випр},k} + T_n)$; σ_{Nm} – дисперсія шуму на вході приймача m -ї РЛС ($m = \overline{1, M}$);

б) для суміші сигналу із шумом для основної РЛС:

$$\omega_{Vi} = \frac{1}{\sqrt{2p}\sigma_{Ni}} \exp\left(-\frac{(V_i - \bar{S}_i)^2}{2\sigma_{Ni}^2}\right), \quad (33)$$

де σ_{Ni}^2 – дисперсія шуму на вході приймача i -ї РЛС; $\bar{S}_i$ – середнє значення очікуваного сигналу на вході приймача i -ї РЛС, яке визначають з рівняння дальності для сполучених систем [7];

в) для приймальної РЛС:

$$\omega_{Vm} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{Nm}} \exp\left(-\frac{(V_{mi} - \bar{S}_{mi})^2}{2\sigma_{Nm}^2}\right), \quad (34)$$

де V_{mi} – суміш шуму із сигналом i -ї РЛС, відбитим від j -го елемента поверхні об'єкту моніторингу; $\bar{S}_{mi}$ – середнє значення очікуваного сигналу на вході приймача m -ї РЛС при опроміненні j -го об'єкта i -ю передавальною РЛС, яке визначається з рівняння дальності для рознесеної радіолокації.

Висновки

Отже, підсумовуючи викладене, варто відмітити наступні результати досліджень:

1. Розроблено модель функціонування РТС ДЗЗ БПП РЛІ для різних типів його реалізації, яка дозволяє відокремити чисто часову обробку сигналів від просторово-часових операцій, обумовлених характеристиками антен і фізичними властивостями конкретного середовища.

2. Розроблена модель функціонування РТС ДЗЗ БПП РЛІ дозволяє враховувати вплив різного роду завад на окремі РЛС системи, а також дозволяє оцінювати ефективність використовуваних способів і пристроїв захисту від завад.

3. Отримана модель (17), (18) обробки радіолокаційних сигналів дозволяє встановлювати зв'язок між показниками ефективності обробки сигналів і технічними характеристиками об'єднаних у систему РЛС із заданою геометрією системи.

4. Отримана формалізація щільностей розподілу ймовірностей сигналів і шумів (завад) достатня для статистичного моделювання процесів формування радіолокаційної інформації для РТС ДЗЗ БПП РЛП розглянутих типів у будь-якій комбінації « i -а передавальна - m -а приймальна РЛС» для використаних типів сигналів, значень носійних частот, діапазонів швидкостей польоту носіїв РЛС і тривалості опромінення j -го об'єкта поверхні моніторингу i -ю РЛС.

5. Синтезовані апіорні щільності розподілу ймовірностей сигналів і шумів на входах приймачів РЛС (32 - 34) дозволяють провести опис шумових параметрів сигналів в залежності від типу РЛС.

Література

1. Пархомей І.Р. Особливості функціонування радіолокаційних систем локації об'єктів з низькою поверхнею віддзеркалення / І.Р. Пархомей, Ю.М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 194–201.
2. Кондратенков Г.С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Г.С. Кондратенков, А.Ю. Фролов ; под ред. Г. С. Кондратенкова. – М. : «Радиотехника», 2005. – 368 с.
3. Радиолокационные станции обзора Земли / Г.С. Кондратенков, В.А. Потехин, А.П. Реутов, Ю.А. Феоктистов ; под. ред. Г.С. Кондратенкова. – М. : Радио и связь, 1983. – 272 с.
4. Саблин В.Н. Разведывательно-ударные комплексы и радиолокационные системы наблюдения земной поверхности / В.Н.Саблин – М. : Радиотехника, 2002. – 250 с.
5. Harger R.O. Synthetic aperture radar system. New-York, London, Academic Press, 1970. 316 p.
6. Богданович В.Ю. Пути повышения живучести зенитных средств современной противовоздушной обороны в условиях применения противником самонаводящегося на источник электромагнитного излучения оружия / Богданович В.Ю. – К. : ВПЦ «Тираж», 2004. – 116 с.
7. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Кристофидес Н. ; под. ред. Г. П. Гаврилова. – М. : Мир, 1976. – 204 с.

Рецензія/Peer review : 18.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОЇ СКЛАДОВОЇ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМНИХ ПРОЕКТІВ

У статті описано реалізацію, архітектуру і структуру нейромережної складової методу прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмних проектів. Також представлено аналіз результатів навчання та функціонування штучної нейронної мережі.

Ключові слова: програмний проект, специфікація вимог до програмного забезпечення, показники специфікації вимог, характеристики програмного проекту, метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмних проектів (МПХОУР), штучна нейронна мережа (ШНМ).

A.V. KRASIY

Khmelnytsky National University

RESEARCH OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK'S COMPONENT OF METHOD OF CHARACTERISTICS PREDICTION AND EVALUATING THE SUCCESS OF SOFTWARE PROJECTS IMPLEMENTATION

Abstract – The article describes the implementation, architecture and structure of neural network's component of method of characteristics prediction and evaluating the success of software projects implementation. The analysis of the artificial neural network (ANN) training and functioning is represented. During the research the ANN was built in Matlab. The ANN was trained with the training sample of 6030 vectors by different training methods and was tested with the testing sample of 610 vectors. As the research results the ANN performance function (mse) and ANN training methods (OSS, SCG, RPROP) were selected on the basis of epochs number and training time. The received predicted relative evaluations of the software project characteristics, provided by ANN, provides to ground the prediction about success of concrete project version implementation and to compare the different project versions on the early stages of software lifecycle, when the developers have only SRS.

Keywords: software project, software requirements specification (SRS), SRS indicators, software project characteristics, method of evaluating the success of software project implementation (MESSPI).

Вступ

В роботах [1–3] підтверджується факт, що причини майже всіх інцидентів та катастроф, пов'язаних з ПЗ, криються у специфікації вимог до програмного забезпечення (ПЗ), тобто переважна більшість аварій, пов'язаних із ПЗ, виникли через помилкові вимоги, а не через помилки кодування. У [2] описано результати експерименту, проведеного для підтвердження або відкидання гіпотези про те, що збої та помилки ПЗ, написаного різними розробниками за однією специфікацією, статистично незалежні. Під час експерименту декілька незалежних груп розробників писали свою версію ПЗ за однією специфікацією. В результаті такого експерименту було встановлено, що версії ПЗ, написані різними розробниками за однаковими вимогами, містили ряд спільних помилок, пов'язаних із помилками або неточностями вимог (специфікації). Аналіз великої кількості програмних проектів, проведений у [4], також виявив, що головне місце виникнення помилок у ПЗ – це етап формулювання вимог (специфікація). Робота [5] основними причинами провалу програмних проектів називає невірні уявлення керівництва та менеджерів проекту щодо реального часу та коштів, які необхідні для забезпечення функційних вимог користувача, тобто знов-таки підтверджує, що більшість проблем ПЗ пов'язана із проблемами специфікації. При сучасному визначенні якості ПЗ [6] – якщо встановлені цілі проекту не відповідають потребам користувачів, то програмний продукт неможливо буде визнати якісним, навіть якщо при його розробленні були використані сучасні технології та були задіяні найкваліфікованіші розробники. Тоді якість та успішність реалізації програмного проекту залежать від специфікації вимог. Таке експериментальне свідчення безпосередньо призводить до необхідності поглиблення аналізу специфікації.

Тоді актуальною задачею є вміння оцінити можливу успішність реалізації програмного проекту на основі характеристик програмного проекту (тривалість проекту, вартість, складність, кросплатформність, зручність використання, якість) [7], прогнозовані значення яких можна отримати шляхом аналізу показників специфікації вимог до програмного забезпечення. Аналіз зазначених характеристик [8, 9] дозволив зробити висновок, що існуючі математичні інструменти та методи, а також автоматизовані засоби їх визначення не придатні для оцінки їх значень на етапі формулювання вимог, оскільки орієнтовані на готовий програмний код, а не на наявну специфікацію вимог до ПЗ. Дослідження відомих методів та автоматизованих засобів аналізу специфікацій [8–12] показало, що всі вони спрямовані на контроль за реалізацією вимог, але жоден з них не визначає прогнозованих значень характеристик за специфікацією. Отже, існуючі методи і засоби аналізу специфікацій не прийнятні для кількісного оцінювання характеристик програмного проекту на основі аналізу специфікацій.

Тому для прогнозування успішності реалізації програмного проекту на основі аналізу специфікації автором було розроблено метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту на основі аналізу специфікації вимог [13, 14]. Нейромережний метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмних проектів (МПХОУР) пропонує

використовувати ШНМ, котра здійснює апроксимацію показників специфікації вимог до ПЗ, в результаті чого надає прогнозовані відносні оцінки характеристик програмного проекту. МПХОУР складається з наступних етапів: 1) нейромережне прогнозування характеристик програмного проекту на основі аналізу специфікації; 2) інтерпретація отриманих відносних значень характеристик програмного проекту; 3) оцінювання ступеня успішності реалізації програмного проекту на основі інтегративного показника проекту; 4) перевірка стабільності та припустимості компенсаційних впливів характеристик програмного проекту.

Визначення діапазонів значень вхідних векторів нейромережної складової МПХОУР

Аналіз структури специфікації вимог до ПЗ [15, 16] показав, що вимоги специфікації дозволяють сформувати множини показників, на основі яких замовник і розробник можуть отримати прогнозовані кількісні значення характеристик програмного проекту: R_1 – множина показників розділу 1 специфікації вимог до ПЗ, R_2 – множина показників розділу 2, R_3 – множина показників розділу 3 специфікації вимог до ПЗ.

Для встановлення зв'язків між основними характеристиками програмного проекту та показниками специфікації було проаналізовано специфікації вимог до ПЗ. Для такого аналізу розглядалися 6 типів програмних проектів (Web-додатки, мобільні додатки, програми електронного навчання, пакети прикладних програм (статистичні, бухгалтерські), автоматизовані системи, інформаційні системи). За кожним типом програмних проектів досліджувалися 30–50 задач різного рівня складності. Для кожної задачі було обрано по 1-3 специфікації, запропоновані різними розробниками для вирішення однієї задачі, а також по 1–3 готових програми, написаних за аналізованими специфікаціями (розглядалися курсові проекти з навчальної дисципліни «Технологія проектування програмних систем» та дипломні роботи і проекти студентів; проекти студентського гуртка «SOFTWARE» Хмельницького національного університету; специфікації та програми софтверних компаній м. Хмельницький; специфікації та програми, знайдені у мережі Інтернет). Таким чином, було проаналізовано 200 задач, 400 специфікацій та 400 готових програм на предмет того, які показники відрізнялись у обраних специфікаціях і як залежно від цього змінювались характеристики готових програм, а також на предмет значень показників специфікацій.

Таблиця 1

Залежність характеристик програмного проекту від показників специфікації вимог

	Вартість	Тривалість	Складність	Зручність використання	Кросплатформність	Якість
<i>Розділ 1 специфікації вимог до ПЗ:</i>						
прогнозований термін виконання	+	+	+			+
кількість виконавців	+		+			+
розмір цільової аудиторії (прогнозована кількість користувачів)			+	+	+	
кількість компонентів ПЗ	+	+	+			+
прогнозований розмір (прогнозована LOC-оцінка) ПЗ	+	+	+			+
<i>Розділ 2 специфікації вимог до ПЗ:</i>						
вартість використовуваних у розробленні операційних систем	+		+			+
вартість використовуваних у розробленні баз даних	+		+			+
вартість використовуваних у розробленні компіляторів	+		+			+
вартість засобів розроблення	+		+		+	
розмір документації користувачів (кількість сторінок)	+	+		+		
вартість документації користувачів	+	+		+		
<i>Розділ 3 специфікації вимог до ПЗ:</i>						
кількість функційних вимог	+	+	+			+
вартість функційних вимог	+		+			+
кількість використовуваних алгоритмів		+	+			+
середня прогнозована вартість помилки	+	+				+
вартість інтерфейсів користувача	+			+	+	
кількість програмних (міжмодульних) інтерфейсів	+	+	+			+
вартість міжмодульних інтерфейсів	+		+			+
кількість апаратних інтерфейсів	+	+	+		+	
вартість апаратних інтерфейсів	+		+		+	
кількість інтерфейсів зв'язку та комунікацій	+	+	+		+	
вартість інтерфейсів зв'язку та комунікацій	+		+		+	
кількість нефункційних вимог	+	+	+	+	+	
вартість нефункційних вимог	+		+	+	+	

Проведений аналіз 400 специфікацій вимог до ПЗ та 400 готових програм дав можливість зробити наступні висновки щодо залежності основних характеристик програмного проекту від показників специфікації вимог для всіх розглядуваних типів програмних проектів – таблиця 1, а також визначити діапазони значень показників специфікації вимог до ПЗ, які прийняті як обмеження для вхідних даних розробленого методу прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмних проектів – таблиця 2.

Таблиця 2

Діапазон значень показників специфікації, які впливають на основні характеристики ПЗ

Розділ специфікації вимог	Показник специфікації вимог	Діапазон значень показника
1	2	3
Розділ 1	прогнозований термін виконання T_v	1-24 місяці
	кількість виконавців Q_v	1-10 чоловік
	прогнозована кількість користувачів S_a	1-1000 чоловік
	кількість компонентів ПЗ Q_{cs}	1-50 компонентів
	прогнозований розмір (LOC-оцінка) S_c	50-50000 рядків коду
Розділ 2	вартість використовуваних операційних систем C_{os}	0-1250 доларів США
	вартість використовуваних баз даних C_{db}	0-1250 доларів США
	вартість використовуваних компіляторів C_c	0-1250 доларів США
	вартість засобів розроблення C_{dt}	0-1250 доларів США
	кількість сторінок документації користувачів C_{ud}	1-50 сторінок
	вартість документації користувачів S_{ud}	50-2500 доларів США
Розділ 3	кількість функційних вимог Q_{fr}	5-300 вимог
	вартість функційних вимог C_{fr}	50-4750 доларів США
	кількість використовуваних алгоритмів Q_a	1-500 алгоритмів
	середня прогнозована вартість помилки C_b	10-960 доларів США
	вартість інтерфейсів користувача C_{ui}	50-3000 доларів США
	кількість програмних (міжмодульних) інтерфейсів Q_{mi}	50-2450 інтерфейсів
	вартість міжмодульних інтерфейсів C_{mi}	25-2500 доларів США
	кількість апаратних інтерфейсів Q_{ai}	5-100 інтерфейсів
	вартість апаратних інтерфейсів C_{ai}	25-1500 доларів США
	кількість інтерфейсів зв'язку та комунікацій Q_{ci}	5-125 інтерфейсів
	вартість інтерфейсів зв'язку та комунікацій C_{ci}	25-1750 доларів США
	кількість нефункційних вимог Q_{nfr}	1-9 вимог
	вартість нефункційних вимог C_{nfr}	50-4000 доларів США

Нейромережна складова методу прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмних проектів

Для оцінювання характеристик ПЗ на основі опрацювання показників специфікації вимог до ПЗ (перший етап МПХОУР) використаємо штучну нейронну мережу (ШНМ), яка здійснює апроксимацію показників специфікації та надає прогнозовані відносні оцінки характеристик ПЗ, розроблюваного за аналізованою специфікацією.

Вхідними даними для ШНМ є множини показників специфікації вимог до ПЗ: $R_1 = \{T_v, Q_v, S_a, Q_{cs}, S_c\}$ – множина показників розділу 1 специфікації вимог до ПЗ, $R_2 = \{C_{os}, C_{db}, C_c, C_{dt}, C_{ud}, S_{ud}\}$ – множина показників розділу 2, $R_3 = \{Q_{fr}, C_{fr}, Q_a, C_b, C_{ui}, Q_{mi}, C_{mi}, Q_{ai}, C_{ai}, Q_{ci}, C_{ci}, Q_{nfr}, C_{nfr}\}$ – множина показників розділу 3 специфікації вимог до ПЗ. Результатом роботи ШНМ є множина прогнозованих відносних оцінок характеристик програмного проекту: $SCH = \{C_s, D_{sp}, C_p, C_x, U_b, Q_s\}$, де C_s – вартість програмного проекту, D_{sp} – тривалість, C_p – кросплатформність, C_x – складність, U_b – зручність використання, Q_s – якість.

Отже, ШНМ має 5 входів x' , 6 входів x'' та 13 входів x . На входи x' подаються показники 1-го розділу специфікації вимог, на входи x'' – показники 2-го розділу специфікації вимог, на входи x – показники 3-го розділу специфікації вимог до ПЗ. На вхід x'_i ($i=1..5$) подається значення i -го елементу множини R_1 , на вхід x''_k ($k=1..6$) подається значення k -го елементу множини R_2 , на вхід x_j ($j=1..13$)

подається j -й елемент множини $R3$.

ШНМ опрацьовує набори вхідних векторів та видає 6 вихідних значень з діапазону $[0..1]$:

Cs – відносна оцінка вартості програмного проекту, де 0 – недостатньо даних для прогнозування вартості (МПХОУР в такому випадку не працює), 0.08 – вартість проекту висока, 1 – вартість проекту низька;

Dsp – відносна оцінка тривалості, де 0 – недостатньо даних для прогнозування тривалості (МПХОУР в такому випадку не працює), 0.08 – тривалість проекту висока, 1 – тривалість проекту низька;

Cx – відносна оцінка складності, де 0 – недостатньо даних для прогнозування складності (МПХОУР в такому випадку не працює), 0.08 – складність проекту висока, 1 – складність проекту низька;

Cr – відносна оцінка кросплатформності, де 0 – недостатньо даних для прогнозування кросплатформності (МПХОУР в такому випадку не працює), 0.08 – кросплатформність проекту низька, 1 – кросплатформність висока;

Ub – відносна оцінка зручності використання, де 0 – недостатньо даних для прогнозування зручності використання (МПХОУР в такому випадку не працює), 0.08 – зручність використання проекту низька, 1 – зручність використання висока;

Qs – відносна оцінка якості, де 0 – недостатньо даних для прогнозування якості (МПХОУР в такому випадку не працює), 0.08 – якість проекту низька, 1 – якість проекту висока.

На основі аналізу шести одержаних характеристик (згідно етапів 2-4 МПХОУР) робиться висновок про успішність реалізації програмного проекту.

Вибір архітектури нейромережі для реалізації нейромережної складової МПХОУР описано у [17]. Для задачі прогнозування характеристик програмного проекту на основі аналізу показників специфікації вимог використано багатoshаровий персептрон. Архітектура нейромережної складової МПХОУР представлена на рис.1.

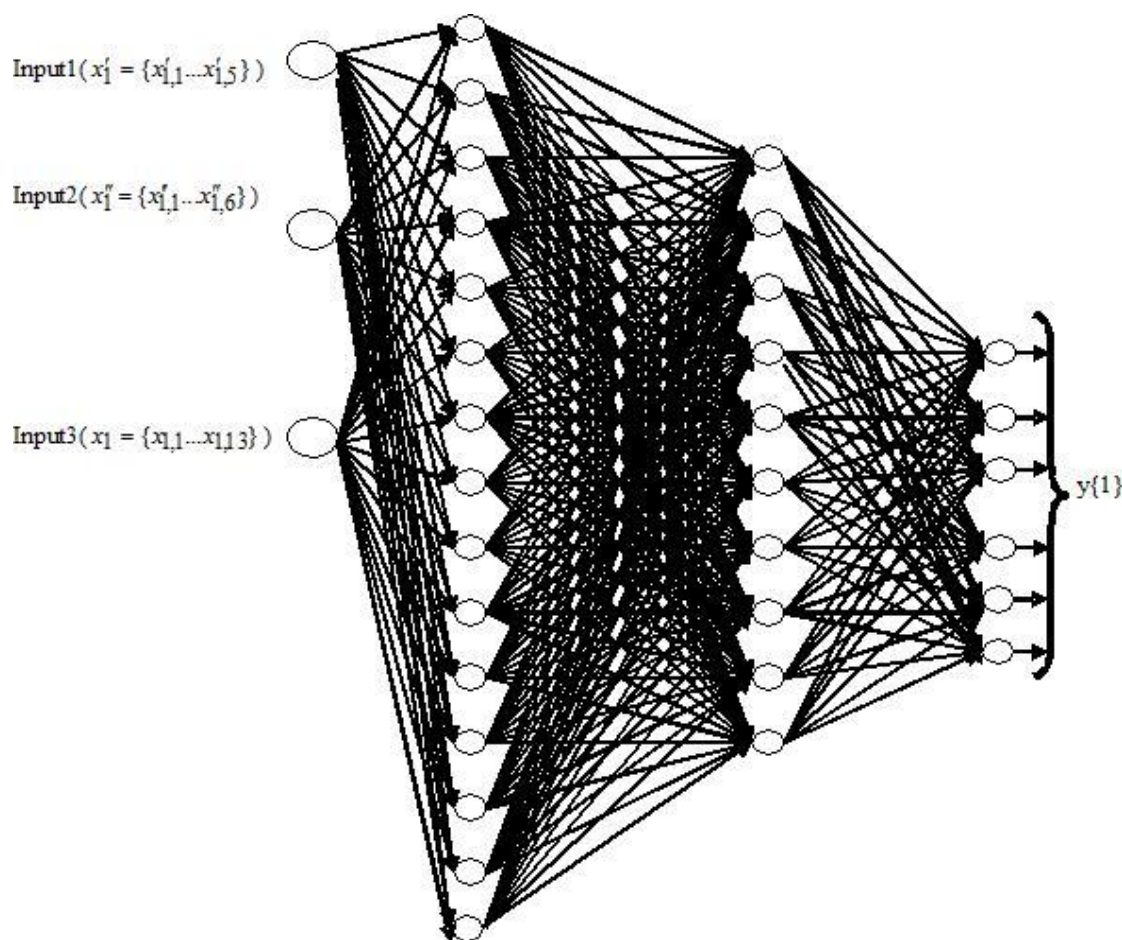


Рис. 1. Архітектура нейромережної складової МПХОУР

Вхідний вектор Input1 складається з 5 елементів (показники розділу 1 специфікації вимог); вхідний вектор Input2 – з 6 елементів (показники розділу 2 специфікації вимог); вхідний вектор Input3 – з 13 елементів (показники розділу 3 специфікації вимог). Таким чином, ШНМ має 24 нейрони вхідного шару. Також ШНМ має 15 нейронів другого, прихованого (апроксимуючого) шару та 10 нейронів третього, прихованого (коригуючого) шару. Вихідний вектор Y повинен складатися з 6 елементів: вартість,

тривалість, складність, зручність використання, кросплатформність, якість програмного проекту, тому ШНМ має 6 нейронів четвертого, вихідного шару.

Діапазони значень вхідних векторів ШНМ збігаються з діапазонами вхідних даних МПХОУР та вказані у таблиці 2. На вхід подається -1, якщо даний показник не визначено у аналізованій специфікації вимог до ПЗ.

ШНМ реалізовано у пакеті Matlab. Для створення шаблону ШНМ використовувалась функція `network`. Було визначено кількість вхідних векторів (`net.numInputs=3`), шарів (`net.numLayers=4`), елементів кожного вхідного вектора ШНМ: `net.inputs{1}.size=5`; `net.inputs{2}.size=6`; `net.inputs{3}.size=13`. Матриця зв'язності для зміщень: `net.biasConnect=[1;1;1;1]`. Матриці зв'язності для входів, шарів, виходів та цілей задано наступним чином: `net.inputConnect = [1 1 1; 0 0 0; 0 0 0; 0 0 0]; net.layerConnect = [0 0 0 0; 1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 1 0]; net.outputConnect = [0 0 0 1]; net.targetConnect = [0 0 0 1]`. Діапазони значень вхідних векторів: `net.inputs{1}.range = [-1 24; -1 10; -1 1000; -1 50; -1 50000]`; `net.inputs{2}.range = [-1 1250; -1 1250; -1 1250; -1 1250; -1 50; -1 2500]`; `net.inputs{3}.range = [-1 300; -1 4750; -1 500; -1 960; -1 3000; -1 2450; -1 2500; -1 100; -1 1500; -1 125; -1 1750; -1 9; -1 4000]`. Кількість нейронів у шарах ШНМ: `net.layers{1}.size=24`; `net.layers{2}.size=15`; `net.layers{3}.size=10`; `net.layers{4}.size=6`. В якості функції ініціалізації для кожного шару ШНМ використано функцію Нгуена-Відроу (`initnw`). Для 1-3-го шарів у якості активаційної функції обрано гіперболічний тангенс (`tansig`), для 4-го (вихідного) шару активаційною є порогова лінійна функція (`purelin`).

Оператор `gensim(net)` дає змогу одержати модель в пакеті Simulink (рис.2-7).

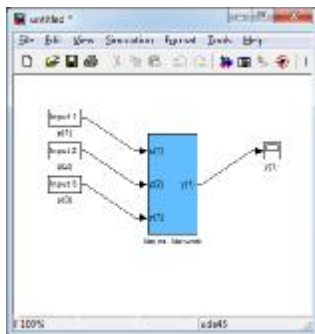


Рис. 2. Архітектура ШНМ в пакеті Simulink

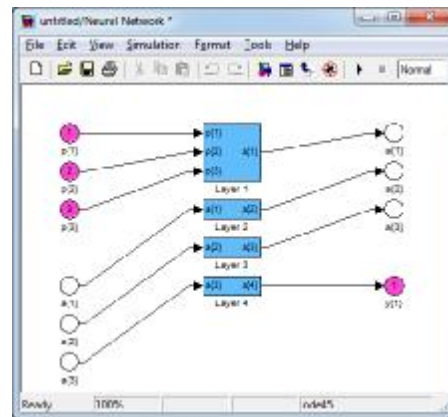


Рис. 3. Структурна схема шарів ШНМ в пакеті Simulink

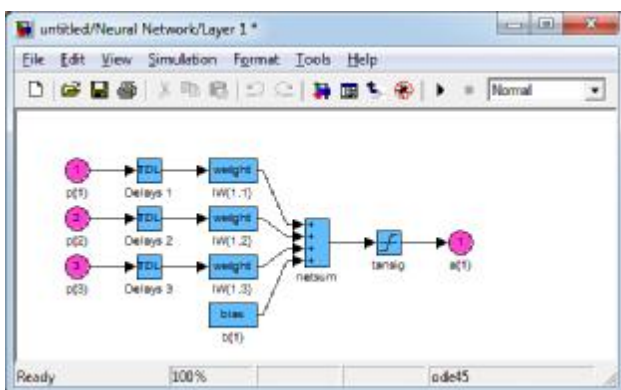


Рис. 4. Структурна схема першого шару ШНМ

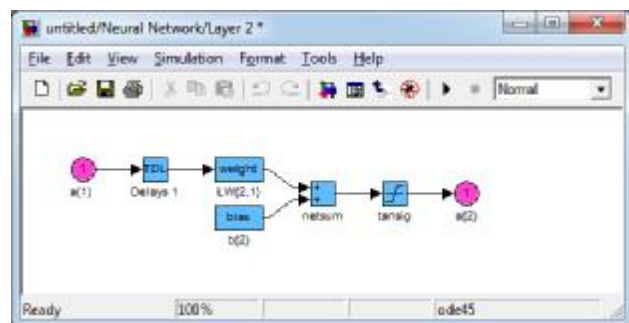


Рис. 5. Структурна схема другого шару ШНМ

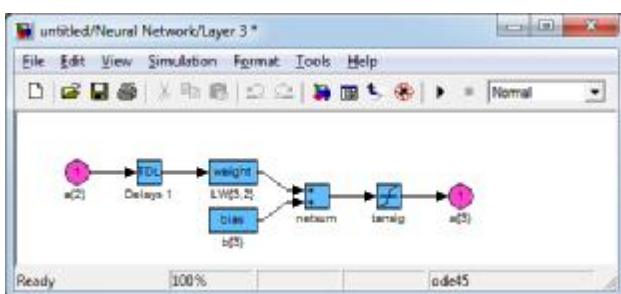


Рис. 6. Структурна схема третього шару ШНМ

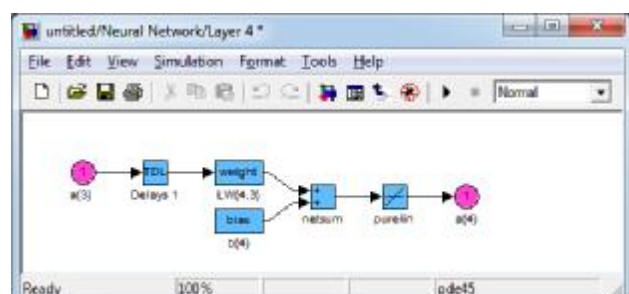


Рис. 7. Структурна схема четвертого шару ШНМ

Навчання ШНМ та аналіз отриманих результатів

Для навчання одержаної ШНМ послідовність навчальних векторів (навчальну вибірку) задано у вигляді:

$c = \{ [1; -1; -1; -1; -1] \quad [6; 3; 220; 13; 10900] \quad [\dots]; - \text{навчальні вектори для входу Input1} (x_1'); \quad [0; -1; -1; -1; -1; -1] \quad [260; 324; 216; 270; 11; 690] \quad [\dots]; - \text{навчальні вектори для входу Input2} (x_2') \};$

$[5; -1; -1; -1; -1; -1; -1; -1; -1; -1; -1; -1; -1; -1; -1] \quad [83; 1075; 108; 216; 705; 680; 563; 29; 415; 30; 400; 3; 910] \quad [\dots]; - \text{навчальні вектори для входу Input3} (x_3)$.

Цільовий вектор визначено як:

$m = \{ [1; 1; 1; 0; 0; 1] \quad [0.789; 0.782; 0.792; 0.790; 0.795; 0.792] \quad [\dots] \}.$

Для розрахунку максимального об'єму навчальної вибірки використаємо формулу комбінаторики, яка дозволяє обчислити кількість сполучень без повторень: $C(m, n) = \frac{m!}{n!(m-n)!} = \frac{24!}{6!(24-6)!} = 134596$, де m

– кількість вхідних нейронів (входів) ШНМ ($m=24$); n – кількість вихідних нейронів (виходів) ШНМ ($n=6$). Отже, при наявності більше 130 тисяч навчальних векторів можна застосувати статистичні методи.

ШНМ використовується в умовах неповноти вхідної інформації. Для розрахунку необхідного об'єму навчальної вибірки для ШНМ, яку потрібно навчити з похибкою порядку 10^{-1} використаємо формулу

[18]: $N > \frac{h \cdot g}{e_0} = \frac{24 \cdot 25}{10^{-1}} = 6000$, де g – кількість вхідних нейронів (входів) ШНМ ($g=24$); h – кількість

нейронів прихованого шару ШНМ ($h=15+10=25$), e_0 – допустима похибка навчання ($e_0=10^{-1}$). Отже, 6000 векторів навчальної вибірки достатньо для того, щоб навчити ШНМ розпізнавати можливі ситуації з заданою точністю.

Для вибору алгоритму навчання було проведено навчання ШНМ навчальною вибіркою з 6030 векторів за різними алгоритмами (таблиця 3).

Таблиця 3

Аналіз результатів навчання ШНМ за різними алгоритмами навчання

Функція навчання	Критерій якості навчання	Похибка навчання	Час навчання, секунди	Кількість епох
traingda (Алгоритм градієнтного спуску з вибором параметра швидкості налагодження)	msereg	0.0903451	19	107
	mse	0.100291	22	105
	mae	0.255729	112	2100
trainoss (Однокроковий алгоритм методу січної)	msereg	0.0903451	16	2
	mse	0.100291	14	2
trainrp (Пороговий алгоритм оберненого поширення)	msereg	0.0903451	15	37
	mse	0.100291	18	35
	mae	0.251225	116	2100
trainlm (Алгоритм Левенберга-Марквардта)	msereg	0.0903451	170	4
	mse	0.100291	115	2
	mae	0.264611	124	2
trainscg (Алгоритм шкалованих зв'язаних градієнтів)	msereg	0.0903451	15	1
	mse	0.100291	16	1
	mae	0.395961	230	2100

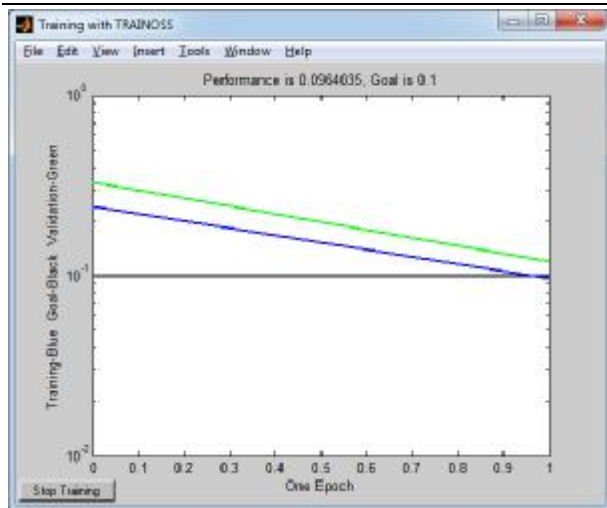
Дослідження показали, що найменшу похибку навчання одержано при комбінованому критерії якості навчання (msereg). В ході дослідження виявлено, що похибка навчання суттєво не відрізняється для різних алгоритмів навчання при використанні однакового критерію якості навчання, тому вибір алгоритму навчання обумовлювався показниками "кількість епох" та "час навчання", за якими кращими є алгоритми навчання OSS, SCG та RPROP.

Тестування ШНМ здійснювалось на основі тестової вибірки з 610 векторів. Процес навчання і тестування за різними алгоритмами навчання відображено на рис. 8 – 11. На рисунках нижня крива відображає графік навчання, а верхня крива відображає графік тестування ШНМ.

Аналіз графіків навчання і тестування ШНМ дозволив зробити висновок, що мережа навчилася з високою достовірністю та точністю.

Експерименти з прогнозування характеристик програмного проекту

Проведемо експерименти з практичного використання нейромережної моделі прогнозування характеристик програмного проекту на основі аналізу специфікації. Для цього розглянемо чотири альтернативні програмні проекти, розроблені різними групами програмістів з різних софтверних компаній Хмельницького для вирішення однієї задачі (таблиця 4).



Training with TRAINSCO

File Edit View Insert Tools Window Help

Performance is 0.0903451, Goal is 0.1

Y-axis: Training-Blue, Goal-Black, Validation-Green

X-axis: One Epoch

Buttons: Stop Training

Training with TRAINRP

File Edit View Insert Tools Window Help

Performance is 0.0952321, Goal is 0.1

Training-Blue Goal-Black Validation-Green

4 Epochs

Stop Training

Training with TRAINING GUI

File Edit View Insert Tools Window Help

Performance is 0.0995513, Goal is 0.1

Training Blue Goal/Black Validation Green

65 Epochs

Stop Training

Таблиця 4

Опрацювання нейромережною складовою МПХОУР показників специфікацій вимог до ПЗ

№ п/п	Значення показників розділу 1 специфікації (Input1 ШНМ)	Значення показників розділу 2 специфікації (Input2 ШНМ)	Значення показників розділу 3 специфікації (Input3 ШНМ)	Результати ШНМ (відносні характеристики проекту)
1	[13;-1;-1;-1;-1]	[624;648;648;648;25;1329]	[160;2510;258;505;1687;1310; 1315;53;805;65;925;5;2110]	[0.52;0.521;0.521; 0.52;0.52;0.52]
2	[24;10;1000;50;50000]	[0;-1;-1;-1;-1;-1]	[300;4750;500;960;3000;2450; 2500;53;805;65;925;5;2110]	[0.389;0.082;0.39; 0.097;0.093;0.389]
3	[-1;-1;-1;-1;-1]	[624;648;648;648;25;1329]	[160;2510;258;505;1687;1310; 1315;53;805;65;925;5;2110]	[0.68;0.522;0.681; 0.52;0.52;0.68]
4	[24;10;1000;50;50000]	[1250;1250;1250; 1250;50;2500]	[-1;-1;-1;-1;-1;-1;-1; 5;-1;-1;-1;-1;-1;-1]	[0.388;0.387;0.389; 0.09;0.393;0.083]

Проаналізуємо отримані результати: найкращі характеристики має проект №3, на другому місці – проект №1, на третьому місці – проект №4, на четвертому місці – проект №2. Отже, проекти №3 та №1 імовірно будуть успішними, а проекти №2 і №4 – проблемними, а то й провальними.

Очевидно, що на основі отриманих з ШНМ відносних значень основних характеристик проекту як розробнику, так і замовнику складно комплексно оцінити успішність реалізації програмного проекту, оскільки складно вірно інтерпретувати одержані відносні значення характеристик, тому й було запропоновано наступні етапи МПХОУР, які дозволяють інтерпретувати отримані відносні значення характеристик та прогнозувати майбутню успішність реалізації програмного проекту.

Висновки

Необхідність поглиблення аналізу специфікації, залежність успішності реалізації програмного

проекту від специфікації вимог, неможливість успішної реалізації програмних проектів з невдалими вимогами та специфікаціями, актуальність та важливість вміння оцінити успішність реалізації програмного проекту на основі специфікації доведені у багатьох сучасних наукових дослідженнях. Раніше розроблений автором нейромережний метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмних проектів (МПХОУР) пропонує використовувати ШНМ, котра здійснює апроксимацію показників специфікації вимог до ПЗ, в результаті чого надає прогнозовані відносні оцінки характеристик програмного проекту.

Дана стаття присвячена реалізації та дослідженню нейромережної складової МПХОУР. В ході дослідження було побудовано ШНМ в пакеті Matlab, після чого нейромережа навчалась вибіркою з 6030 векторів за різними алгоритмами навчання та тестувалась вибіркою з 610 векторів. В результаті дослідження обрано: критерій якості навчання ШНМ - *msereg*; алгоритми навчання ШНМ за кількістю епох та часом навчання - *OSS*, *SCG*, *RPROP*.

Отримані прогнозовані відносні оцінки характеристик програмного проекту, надані ШНМ, дозволяють обґрунтувати прогноз щодо успішності реалізації конкретної версії проекту та порівняти між собою різні версії проектів на різних етапах життєвого циклу, коли наявна лише специфікація вимог до ПЗ.

Література

1. Levenson N.G. Systemic factors in software-related spacecraft accidents / Levenson N.G. // AIAA Space 2001 Conference and Exposition, pp.1–11.
2. Levenson N.G. Software challenges in achieving space safety / Levenson N.G. // Journal of the British Interplanetary Society. – Vol. 62, July/August 2009, pp. 265–272.
3. Ishimatsu T. Hazard analysis of complex spacecraft using systems-theoretic process analysis / Ishimatsu T., Leveson N.G., Thomas J.P., Fleming C.H., Katahira M., Miyamoto Yu., Ujiie R., Nakao H., Hoshino N. // Journal of Spacecraft and Rockets – Vol. 51, No. 2 (2014), pp. 509–522.
4. Jones C. The economics of software quality / Jones C., Bonsignour O. – Boston : Pearson Education, 2012. – 588 p.
5. E.Yourdon. Death March: The complete software developer's guide to surviving "Mission impossible" projects (2nd edition) / Yourdon E. – Prentice Hall, 2003.
6. Bourque P. Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK). Version 3.0 / Bourque P., Fairley R.E. – A project of the IEEE Computer Society, 2014 – 335 p.
7. Maedche A. Software for people: fundamentals, trends and best practices (Management for professionals) / Maedche A., Botzenhardt A., Neer L. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. – 293 p.
8. Красій А.В. Моделювання процесу прогнозування характеристик програмного забезпечення на основі аналізу специфікацій / А.В. Красій // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – Луцьк : Луцький національний технічний університет, 2014. – С. 66–76.
9. Fenton N. Software metrics: A rigorous approach (3rd edition) / Fenton N. – CRC Press, 2014 – 597 p.
10. Chen A. Visual models for software requirements / Chen A., Beatty J. – W.: MS Press, 2012. – 444 p.
11. Fatwanto A. Software requirements specification analysis using natural language processing technique / Fatwanto A. // International Conference on Quality in Research – 2013, pp.105–110.
12. Rehman T. Analysis of requirement engineering processes, tools/techniques and methodologies / Rehman T., Khan M.N.A., Riaz N. // I.J. Information Technology and Computer Science – 2013, pp.40–48.
13. Красій А.В. Нейромережний метод прогнозування характеристик та оцінювання успішності реалізації програмного проекту / А.В. Красій // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2015. – № 3. – С. 132–140
14. Hovorushchenko T. Method of Evaluating the Success of Software Project Implementation Based on Analysis of Specification Using Neuronet Information Technologies / Hovorushchenko T., Krasiy A. // Proceedings of the 11th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer – CEUR-WS, vol.1356, pp.100–107.
15. IEEE 1031-2011: IEEE Guide for the Functional Specification. URL: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1031-2011.html>
16. IEEE 29148-2011 – Systems and software engineering. Life cycle processes. Requirements engineering
17. Hovorushchenko T. Realization of Neural Network Model of Prediction of the Software Project Characteristics for Evaluating the Success of Its Implementation Based on Analysis of Specifications / Hovorushchenko T., Krasiy A. // Proceedings of the 2015 IEEE 8-th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2015) – USA, NJ 08855-1331: IEEE Operations Center, 2015 – vol.1, p. 348–353 (IEEE Catalog Number: CFP15803-PRT)
18. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Уоссермен Ф. – М. : Мир, 1992. – 240 с.

I.P. МИХАЙЛЮК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, Т.О. ВАВРИК
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

МЕТОДИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

В статті запропонована організація процедури перетворення інформаційних повідомлень, а також їх часовий розподіл та представлення без втрат. Як приклад описана робота трьохканальної системи, де розглянуто часовий розподіл потоку параметрів. Для організації процедур раціонального кодування та концентрації технологічних і планово-економічних даних розроблений неадаптивний метод на основі нелінійних теоретико-числових перетворень. В процесі впровадження відмічена висока надійність зберігання та відбору даних при помилках в індексації інформаційних блоків.

Ключові слова: дискретизація, процедура, раціональне кодування, код інформаційного стану.

I.R. MUHAJLUK, G.I.LEVYTSKA, T.A.VAVRYK
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

METHODS OF DATA TRANSFORMATION AND CONCENTRATION IN INFORMATIVELY-MEASUREMENTS SYSTEMS FOR GAS TRANSPORTATION NETWORK

Abstract – Organization of procedure transformation of information messages, and also their temporal distributing and presentation without losses are offered in the article. Work of the three-channel system is as an example described, where the temporal distributing stream of parameters is considered. For realization procedures of the rational encoding and concentration technological and planned-economic data is developed non-adaptive method on the basis of nonlinear number-theoretic transformations. In the process of introduction high reliability of storage and selection of data with errors in indexation of informative blocks was mentioned.

Keywords: digitization, procedure, rational encoding, code of the informative state.

Вступ

Проблема перетворення інформаційних повідомлень, а також їх часовий розподіл є достатньо складною і трудомісткою теоретико-алгоритмічною задачею. Відомі методи перетворення інформаційних повідомлень, а також їх розподіл в часі недостатньо ефективні для обґрунтування параметрів перетворення та концентрації даних в конкретних умовах, зокрема, в інформаційних системах бурових виробництв.

Процедури кодування, переносу та концентрації даних в інформаційно-вимірювальних системах

Розглянемо організацію процедури перетворення інформаційних посилань з її часовим розподілом без втрат.

Нехай газотранспортна мережа характеризується набором технологічних параметрів $y_1, y_2, \dots, y_n$. Кожний з $y_i, i = \overline{1, n}$ характеризується періодом t_i і довжиною передачі l_i . Очевидно, що не при всяких $t_i, l_i (i = \overline{1, n})$ можливий відбір інформації з об'єкту при здійсненні оптимального часового ущільнення каналу чи організації оптимальної дисципліни обслуговування потоку $y_i, i = \overline{1, n}$. Так, при більш частій передачі інформації буде передаватись надлишкова її кількість, в протилежному випадку – частина інформації буде втрачена, відомо з [1].

Введемо поняття l_1 – першої передачі інформаційного параметру y_1 , що фактично є для початкової точки синхронізації наступного розподілу в часі $y_i, i = \overline{1, n}$. Тоді контрольний об'єкт можна описати $y = \{l_i, t_i, t_i\}_{i=1}^n$.

Однозначність відбору параметрів $y_i, i = \overline{1, n}$ в часі зафіксуємо обмеженням

$$t_i > l_i + t_i.$$

Визначаємо ряд співвідношень можливості часового розподілу $y_i, i = \overline{1, n}$.

Якщо під змінну k_i прийняти період, то $y_i^{(k_i)}$ початком передачі інформації від i -ї компоненти набору $y_i, i = \overline{1, n}$ в k_i період. При $k_i = \{0, 1, 2, \dots\}$ – набір цілих чисел y_i можна виразити

$$y_i^{(k_i)} = l_i + k_i \cdot t_i.$$

Так як $y_i^{(k_i)}$ – момент часу початку передачі i -ї компоненти, то наступну передачу інформації відображаємо як мінімум через t_i , що відповідає моменту

$$y_i^{(k_i)} = y_i^{(k_i)} + t_i \quad .$$

Виконання нерівності $y_i^{(k_i)} - y_i^{(k_i)} \geq t_i$ відповідає часовому критерію розподілу сусідніх ординат y_i і y_j при $i \neq j$.

Для більш жорстких обмежень $l_i, t_i, t_i, (i = \overline{1, n})$, що може призвести до більш глибокого аналізу критеріїв часового розподілу. Введемо цілочисельну шкалу їх значень.

Нехай $t_{ij} = t_i \Delta t_j$, де Δ – символ операції логічного множення, причому для взаємно простих чисел t_i, t_j величина t_{ij} – найбільш загальний дільник (НЗД), що, в відповідності з Китайською теоремою про різниці, забезпечує однозначність представлення набору l_i, t_i, t_i .

Так, для трьохканальної системи попарні суми довжини передачі y_1, y_2, y_3 можна записати

$$\begin{aligned} t_1 + t_2 &\leq t_{12} = t_1 \wedge t_2 = c_{12}; \\ t_2 + t_3 &\leq t_{23} = t_2 \wedge t_3 = c_{23}; \\ t_1 + t_3 &\leq t_{13} = t_1 \wedge t_3 = c_{13}, \end{aligned} \quad (1)$$

а загальна довжина передачі y_1, y_2, y_3 буде відображена

$$c_{123} = k_{123} t_{123} \leq \left\lceil \frac{t_{12} + t_{23} + t_{13}}{2 t_{123}} \right\rceil t_{123} \quad ,$$

де $t_{123} = t_1 \wedge t_2 \wedge t_3$, тобто $t_1 + t_2 + t_3 \leq c_{123}$.

Для знаходження початків першої передачі l_1, l_2, l_3 , тобто фактичної синхронізації в часі початку параметрів y_1, y_2, y_3 введемо позначення

$$\begin{aligned} l_1 - l_2 &= l_{12}; \\ l_2 - l_3 &= l_{23}; \\ l_1 - l_3 &= l_{13}. \end{aligned}$$

В свою чергу значення l_{12}, l_{23}, l_{13} можна визначити на основі розв'язку діофантових рівнянь

$$\begin{aligned} l_{12} &\equiv d_{12} \pmod{t_{12}}; \\ l_{23} &\equiv d_{23} \pmod{t_{23}}; \\ l_{13} &\equiv d_{13} \pmod{t_{13}}. \end{aligned}$$

Числа d_{12}, d_{23}, d_{13} обмежені величинами, відомо з [1]

$$\begin{aligned} t_2 &\leq d_{12} \leq t_{12} - t_1; \\ t_3 &\leq d_{23} \leq t_{23} - t_2; \\ t_{12} &\leq d_{13} \leq t_{13} - t_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Для ілюстрації описаного часового розподілу параметрів y_1, y_2, y_3 для трьохканальної системи розглянемо приклад.

Періоди передачі інформації $t_1 = 5$; $t_2 = 5$; $t_3 = 10$.

Тривалість передачі $t_1 = 1$; $t_2 = 2$; $t_3 = 2$.

Визначимо найменше загальне кратне (НЗК): $t_{12} = 5$; $t_{23} = 5$; $t_{13} = 5$;
 $t_{123} = t_1 \wedge t_2 \wedge t_3 = 5$.

$$c_{123} = \left\lceil \frac{5+5+5}{2 \cdot 5} \right\rceil \cdot 5 = 5 \quad .$$

Виконання критеріїв визначимо на основі відношень (1.2):

$$\begin{aligned} t_1 + t_2 &= 3 \leq 5 = t_{12}; \\ t_2 + t_3 &= 5 \leq 5 = t_{23}; \\ t_1 + t_3 &= 4 \leq 5 = t_{13}. \end{aligned}$$

Критичні оцінки витримані, відповідно для поставленої умови часовий розподіл можливий.

На основі (1.2) визначимо початкові моменти передачі ординат y_1, y_2, y_3 . Для цього прийmemo

значення $d_{23} = t_3 = 2$; $d_{13} = t_{13} = 1$; $d_{12} = c_{123} - d_{23} - d_{13} = 2$.

Тоді, якщо $l_1 = 0$, то $l_2 = -2$, а $l_3 = 1$.

Ілюстрація часового розподілу Y_1, Y_2, Y_3 для даного прикладу показано на рис.1.

надлишкові групи y_i, y_j виникають кожним періодом $t_i, t_j = 0,25$.

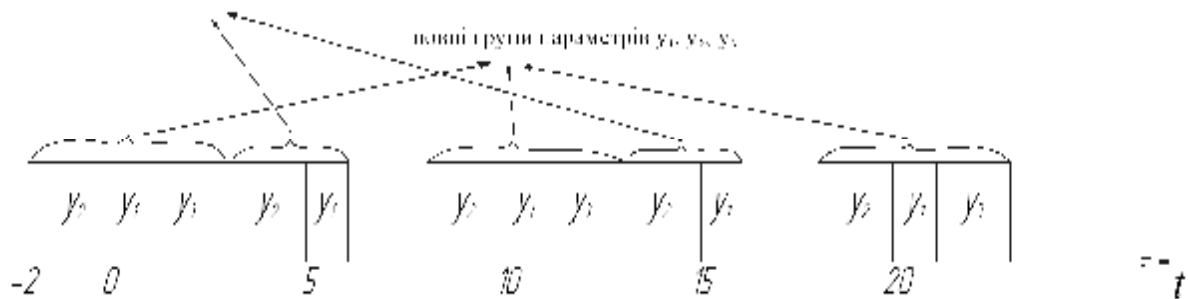


Рис. 1. Часовий розподіл ординат Y_1, Y_2, Y_3

Розглянута послідовність операцій для часового розподілу послідовності параметрів досліджуваного об'єкта, як і інші традиційні методи збору інформації, наділена тим недоліком, що про стан об'єкта можна робити висновки на значному часовому проміжку. Так для розглянутого прикладу з трьома параметрами періодичність відбору інформації поступово розтягується в часі через різну періодичність і розмірність кожного з параметрів. Таким чином, зростає потреба до комутаторів термінальних приладів та їх адаптація на зміну ситуації досліджуваного об'єкта. Все це вимагає, в кінцевому випадку, створення більш вдосконалених методів кодування і переносу інформації в ІВС з можливостями розпаралелення потоку інформаційних повідомлень та створення кодових посилань, які містять інформацію про весь набір технологічної інформації про об'єкт в фіксовані моменти часу.

Більш перспективним напрямленням реалізації процедур раціонального кодування та концентрації масивів технологічних і планово-економічних даних в ІВС газотранспортних мереж є розробка і практичне впровадження неадаптивних методів на основі нелінійних теоретико-числових перетворень системи залишкових класів (СЗК), відомо з [2]. Ці методи характеризуються виключно простими процедурами перетворення і представляють практичну цінність в ІВС автоматизованих систем управління (АСУ), де надлишок первинної інформації досягає 90% при високих швидкостях створення повідомлень, відомо з [2].

Запропонована процедура кодування повідомлень виконується наступним чином, розглянуто у [3].

Телеметрична інформація досліджуваного об'єкта на деякому інтервалі часу $\overline{1, n}$ описується матрицею

$$y_{ij} = \begin{pmatrix} y_{11}y_{12}\dots y_{k1}\dots y_{n1} \\ y_{12}y_{22}\dots y_{k2}\dots y_{n2} \\ \dots \\ y_{1k}y_{2k}\dots y_{kk}\dots y_{nk} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де y_{ij} – сигнал i -го рівня j -го вимірювання чи канала, k – число каналів, n – число відліків ($n > k$)

. Матриця (3) однозначно представляється матрицею різниці шляхом нелінійного перетворення елементів

$$b_{ij} = \text{res } y_{ij} (\text{mod } P_j),$$

де $P_j > 2 \max \{y_{ij} - y_{i-1, j}\}$.

Причому, однозначність відновлення y_{ij} виконується по рекурентній процедурі, відомо з [2]

$$y_{ij} = E \left[\frac{y_{i-1, j} - b_{ij}}{P_j} \right] \cdot P_j + b_{i-1, j}, \quad (4)$$

де E – цілочисельна функція з закругленням до меншого. При цьому періодично на інтервалі часу $\overline{1, n}$ необхідно доповнити b_{ij} рангами R_j для обчислення опірних ординат

$$y_{ij} = R_j P_j + b_{ij}, \quad (5)$$

де

$$R_j = E[y_{ij} / P_j].$$

Виникає необхідність введення додаткового модуля кодування P_{k+1} для реєстрації R_j . При цьому діапазони квантування $A_1 \div A_k$ телеметричних даних по каналам $P_1 \div P_k$ визначаються виразом

$$A_j = (P_{k+1} - 1)P_j + (P_j - 1),$$

або виразом

$$A_j = P_j P_{k+1} - 1.$$

Сформований двохвимірний масив описується матрицею

$$\begin{pmatrix} b_{11} \dots b_{k1} b_{k+1,1} \dots b_{n1} \\ \dots \\ b_{1k} \dots b_{kk} b_{k+1,k} \dots b_{nk} \\ R_1 \dots R_k X_{k+1} \dots X_n \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де $b_{11} - b_{nk}$ – залишки телеметричної інформації;

$X_{k+1} - X_n$ – вільні позиції каналу $k + 1$.

Для забезпечення локальної незалежності даних, що кодуються, переносяться і концентруються на всіх рівнях автоматизованих систем управління необхідно суміщення технологічних і планово-економічних даних в одному файлі. З цією метою символи $X_{k+1} - X_n$ використовуємо для кодування планово-економічних даних. Величина n вибирається в залежності від рівня помилок, які виникають в інформації при її переносі по каналах зв'язку чи при концентрації в накопичувачах.

Кінцевим етапом перетворення інформації є кодування стовпчиків матриці (6) в СЗК

$$N_i = \text{res} \sum C_{ij} B_j \pmod{r}, \quad (7)$$

де C_{ij} – вектор-стовпчик матриці (6);

$B_j, r = \prod_{j=1}^{k+1} P_j$ – ортогональні бази і узагальнений модуль перетворення СЗК.

Таким чином, до моменту переносу інформації матриця (6) перетворюється у вектор-рядок N_i , $i = \overline{1, n}$, яка відображає стан досліджуваного об'єкта на інтервалі часу $\overline{1, k}$ по k – технологічним параметрам, а на інтервалі часу $\overline{k+1, n}$ додатково введеної поточної планово-економічної інформації.

Реалізація приведеної процедури дозволяє зменшити об'єм інформації, яка реєструється на компресорній станції в 5–8 разів порівняно з традиційними методами перетворення даних, відомо з [2].

Основними позитивними результатами наведеної процедури перетворення даних є наступне:

1) при організації циклічного збору інформації газоперекачувальних агрегатів (ГПА), передачі 6-ти технологічних параметрів та планово-економічних даних, включаючи добовий рапорт майстра, інтервал дискретизації не перевищує 2,4 с.;

2) стрімко знижуються вимоги до пропускної здатності каналів зв'язку і реєструючої апаратури, так як швидкість створення повідомлень не перевищує 32 біт/с;

3) роздільність каналів телеметричних і планово-економічних даних, а також їх верстка в одне кодове слово N_i , $i = \overline{1, n}$ допускає використання високоефективних коректуючих АН – кодів;

4) спрощується концентрація даних по деяких складових ГПА.

Розглянута процедура перетворення

$$\|y_{ij}\| \Rightarrow \|b_{ij}, R_i \vee X_i\| \Rightarrow \{N_i\}, i = \overline{1, n}$$

описується розгорнутою формулою перетворення даних

$$N_i = \text{res} \left(\sum_{j=1}^k b_{ij} B_j + R_i B_{k+1} \vee X_i B_{k+1} \right) \pmod{r},$$

де $\vee$ – символ операції логічного додавання;

B_{k+1} , P_{k+1} – ортогональний базис і модуль кодування елементів в $k + 1$ векторного рядка матриці (6).

В ряді випадків існують ситуації на діючій компресорній станції при яких рівень електромагнітних полів настільки високий, що створюються шуми в лініях зв'язку в 30 і більше вольт. Розробка засобів захисту ліній зв'язку від дії електромагнітних перешкод (особливо з врахування іскробезпеки як

невід'ємної вимоги до апаратури на компресорній станції) являє собою складну задачу, що призводить до значного подорожчання апаратури в цілому. В останні роки значна увага надається питанням використання оптоволоконних ліній зв'язку, перевага яких стає все більш очевидним, відомо з [4]. Ці лінії зв'язку дозволяють:

- забезпечити обмін з зовнішнім середовищем з швидкістю не менше 10^6 - 10^7 байт/с ;
- розширити частотний діапазон сигналів керування до 10^{14} - 10^{15} гц з одночасним збільшенням інформаційної швидкості в 10^6 раз;
- вести не тільки ввід-вивід по оптичному каналу, але й здійснювати безпосередній візуальний контроль і зчитування;
- забезпечити високу надійність і практично повний захист від електричних полів;
- різко зменшити масу ліній зв'язку, замінивши їх дешевим скловолоконном;
- створити лінії зв'язку з повною іскробезпекою.

Як відомо з [5], запропоновано конкретне технічне вирішення переносу N_i в ІВС. З врахуванням [4] вимоги до протяжності оптичного каналу можна виразити

$$L = \frac{F - A}{a} + L_B, \quad (8)$$

де F – запас потужності волотрона, дБм;
 A – втрати потужності в нероз'ємних з'єднаннях, дБм;
 a – коефіцієнт затухання оптоволоконного кабеля, дБ/км;
 L_B – довжина оптичного тракту волотрона, км.

Використання стандартного електричного з'єднання СНП-34, що широко використовується в пристроях ЕОМ, і виконання залежності (7) дозволяє будувати лінії зв'язку на основі волотронів, які забезпечують потрібну конструктивну сумісність з електронними пристроями.

Найбільш часто в ІВС використовуються ієрархічні структури концентруючих при переносі даних з позиційним кодуванням відношень. Ієрархічну структуру концентруючих повідомлень планово-економічного характеру в ІВС практично не вдається привести до зважуваного вигляду, а приведені дані до двійкового дерева породжує значний надлишок кодування. Тому, доцільним є приведення повідомлень, які передаються, до реляційної структури, використовуючи ефективне кодування атрибутів відношень.

Для ідентифікації концентруючих даних N_i та визначення початку інформаційного блоку вводиться нульова позиція рангу R_0 , яка відображає стан досліджуваного ГПА в нульовий момент часу.

Для забезпечення єдиного формату кодових слів N_i для їх безпосереднього вводу, обробки та зберігання в ЕОМ при числі контрольних параметрів джерела інформації перевищує k , запропоновано групування телеметричних каналів в кодових словах N_i . Інформаційний блок на інтервалі 60 с з кроком дискретизації 2.4 с демонструвався потоком двох кодових слів N_{i1} і N_{i2} . Кожний з блоків, як показано на рис.2, містить 5 цифрових каналів:

$P_0 = 5$ - канал захисту від помилок за допомогою AN-коду;

$P_1 = 7, P_2 = 9, P_3 = 13$ – канали телеметрії технологічних параметрів;

$P_4 = 16$ – канал рангів, стан ГПА та даних добового рапорту майстра.

N_{i1} містить інформацію про концентрацію викидних газів (оксидів азоту NO_x та оксиду вуглецю CO) залежно від витрат газу Q і коефіцієнта надлишку повітря, а N_{i2} – виміри концентрації викидних газів (оксидів азоту NO_x та оксиду вуглецю CO) залежно від номінальної потужності та температури згорання, відомо з [6]. Одночасне формування на ГПА двох кодових слів N_{i1} і N_{i2} дозволяє підвищити надійність передачі інформації при утворенні помилок, доводячи ймовірність помилок для телеметричних даних 10^{-4} і 10^{-6} . Дане вирівнювання здійснене шляхом дублювання передачі планово-економічних показників одночасно в двох кодових словах N_{i1} і N_{i2} .

Висновок

Викладені процедури кодування, переносу та концентрації даних в ІВС базуються на неадаптивних методах стиснення інформації, що визначає високу надійність зберігання і вибірки даних при помилках в індексації інформаційних блоків. Достатньо детально розглянуті питання дослідження потоків інформації газотранспортних мереж, дана оцінка об'єму інформації та вибраний крок дискретизації різнотипних технологічних параметрів, спроба оптимізації розподілу потоку повідомлень в інформаційно-вимірювальних системах (ІВС).

		T-1м(позиції 1-25)																								
N_1	P_0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	...	0	2	2	2	2	0	0	0	...						
	P_1	b_1	b_1	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...							
	P_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...							
	P_3	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...							
	P_4	X	X	R_1	R_1	R_1	C	X	X	X	...	X	R_1	R_1	R_1	C	X	X	X	...						
N_2	P_0	1	1	3	3	3	3	1	1	1	...	1	3	3	3	3	1	1	1	...						
	P_1	b_1	b_1	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...							
	P_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...							
	P_3	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	b_2	...							
	P_4	X	X	R_1	R_1	R_1	C	X	X	X	...	X	R_1	R_1	R_1	C	X	X	X	...						

Рис. 2. Групування телеметричних даних в кодові слова N_{i1} і N_{i2} .

Література

1. Распределение регулярных потоков сообщений в информационных системах / [Амебраев В.М., Васильев В.И., Гуревич И.М., Пек И.Т.]. – Алма-Ата : Наука КазССР, 1980. – 144 с.
2. Николайчук Я.Н. Компактное кодирование сообщений в многоуровневой системе баз данных / Я.Н. Николайчук, Г.Я. Ширмовский, В.Р. Процюк // УсиМ. – 1984. – № 1. – С. 102–107.
3. Николайчук Я.Н. Эффективное кодирование суточного рапорта бурового мастера для формализованного ввода в ЭВМ / Я.Н. Николайчук, В.Р. Процюк, Г.Я. Ширмовский // Экспресс-информация / ВНИИОЭНГ. – М., 1986. – Сер. Экономика и управление. – Вып. 7. – С. 29–33.
4. Носов Ю.Р. Волстроны – элементная база оптоволоконных линий связи терминальных устройств / Ю.Р. Носов // Оптоэлектронные устройства в приборостроении и информатике : тезисы докладов сесоюзного семинара по оптоэлектронике. – Тбилиси, 1985. – С. 19–21.
5. Николайчук Я.Н. Многоканальная система волоконно-оптической связи с уплотнением данных в унитарном коде СОК / Я.Н. Николайчук, Г.Я. Ширмовский // Всесоюзного семинара по оптоэлектронике: Тезисы докладов. – Тбилиси, 1985. – С. 280–282.
6. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ / А.М. Постников ; под ред. Гриценко Е.А. – Самара : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2002. – 286 с. – ISBN 5.93424–081–1.

Рецензія/Peer review : 25.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Юрчишин В.М.

ЕФЕКТИВНИЙ АЛГОРИТМ ГЕНЕРУВАННЯ ПРОСТИХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

В даній статті викладені теоретичні основи ефективного алгоритму генерування найбільшого простого числа при застосуванні системи залишкових класів, що дозволяє понизити складність базових обчислювальних процесів та оперативно обчислювати прості числа, які придатні для побудови стійких систем захисту інформаційних потоків з використанням математичного апарату ЕК.

Ключові слова: система залишкових класів, прості числа, алгоритм, сито Ератосфена, тести простоти.

I. IAKYMENKO

Ternopil National Economic University

EFFECTIVE ALGORITHM OF GENERATION OF PRIME NUMBERS BASED ON USING REMAINING CLASSES SYSTEM

This article presents the theoretical background of algorithm for generating the greatest prime number in the application of remaining classes system. The new algorithm allows to reduce complexity of basic computing processes and effectively compute prime number, which are suitable for assembling stable system for protection information flows using the mathematical elliptic curves engine.

Keywords: remaining classes system, prime numbers, algorithm, sieve of Eratosthenes, primarily tests.

Актуальність дослідження

Сучасні комп'ютерні мережі та системи інтенсивно вдосконалюються на основі нових теоретичних положень опрацювання інформаційних потоків та програмно-апаратних засобів реалізації алгоритмів формування, перетворення, ідентифікація та покращення аутентифікації користувачів інформаційних систем.

При цьому, на сучасному етапі розвитку комп'ютерних систем виникає ряд проблем та науково-технічних задач пов'язаних з підвищенням інформаційної стійкості комп'ютерних систем, підвищення швидкодії алгоритмів шифрування/дешифрування а також створення відповідних програмно-апаратних та спеціалізованих засобів опрацювання інформаційних потоків.

Досвід використання відомих алгоритмів шифрування та розвиток теорії алгоритмів, які широко застосовуються в практиці на основі важко оборотних функцій хешування, факторизації, модулярних та інших операцій вже наблизилися до границь своїх потенційних можливостей і в загальному не можуть бути основою розвитку та вдосконалення засобів захисту інформаційних потоків в сучасних та проєктованих комп'ютерних системах.

Наш досвід показує, що на зміну цим методам закономірно прийшли нові алгоритми шифрування на еліптичних кривих, стійкість яких базується на проблемі дискретного логарифма. Якщо виключити вже відомі криптографічно слабкі криві, то стійкість цих систем захисту інформаційних потоків сьогодні оцінюються як експоненційна. Складність атаки на ключ експоненційно пов'язана в цьому випадку з довжиною ключа, тобто зростає швидко і при деякій довжині ключа стає практично нереалізованою. Це означає, що алгоритми шифрування з використання математичного апарату еліптичних кривих при однаковій стійкості мають розмір модуля на порядок менший ніж в традиційних системах. Однією з важливих задач в криптографії еліптичних кривих є генерування модуля криптоперетворення, який повинен задовольняти умовам простоти та розмірності не менше 512 біт.

Аналіз досліджень та огляд літературних джерел

Найбільш розповсюдженим способом знаходження простих чисел є один з найдавніших математичних методів – метод «Сито Ератосфена» [1], згідно якого для знаходження простих чисел необхідно викреслювати з послідовності натуральних чисел числа кратні 2, 3, 5, 7, 11 і т.д. В результаті виконання даної процедури в послідовності залишаються тільки прості числа. Однак для використання даного підходу, затрачається дуже великий обсяг часу.

Інший підхід генерування випадкового простого числа заданого розміру [2] (із заданою кількістю десяткових розрядів k) полягає в наступному:

Вибирається випадкове натуральне число p між $10k - 1$ і $10k + 1$.

Далі по черзі перебирають числа p , $p + 1$, $p + 2$, кожне з яких перевіряється тестом простоти доти, поки якесь число $p + t$ не буде простим. Воно й береться як шукане просте число.

Основні недоліки даного підходу полягає в тому, що великі часові затрати будуть при перевірці чисел на простоту. На сьогоднішній день найбільш поширеними тестами простоти є тест Соловея–Штрассена (та його модифікація Лемана), Рабіна–Міллера [1–3].

Мета роботи

Тому метою даної роботи є розробка ефективного методу генерування багаторозрядних простих чисел, на основі використання системи залишкових класів, який на відмінну від відомих дозволить спростити процедуру ідентифікації та зменшити складність обчислювального процесу.

Система числення залишкових класів

Фундаментальною теоретичною основою СЗК є алгебра і теорія чисел [3], зокрема китайська теорема про залишки [4]. Відомо, що будь-яке ціле додатне число N у десятковій системі числення представляється в СЗК у вигляді набору $(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)_{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n}$ найменших додатних залишків від ділення цього числа на фіксовані цілі додатні попарно взаємно прості числа $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ ($b_i = N \bmod p_i$), які називаються модулями (n – кількість модулів) [4]. При цьому повинна виконуватись умова $0 \leq N \leq P-1$, де $P = \prod_{i=1}^n p_i$.

Зворотне перетворення із базису Крестенсона у десяткову систему числення ґрунтується на використанні китайської теореми про остачі і є досить складним та громіздким [4]: $N = \left(\sum_{i=1}^n b_i B_i \right) \bmod P$, де

$$B_i = M_i m_i, \quad M_i = \frac{P}{p_i}, \quad m_i \text{ шукається з виразу } (M_i m_i) \bmod p_i = 1, \text{ при цьому повинна виконуватись умова } \left(\sum_{i=1}^n B_i \right) \bmod P = 1.$$

Слід зазначити, що пошук коефіцієнтів $m_i = M_i^{-1} \bmod p_i$ становить значну обчислювальну складність, оскільки для знаходження оберненого елемента потрібно використовувати алгоритм Евкліда із виконанням не більше $5k$ операцій ділення з остачею, де k – кількість цифр в десятковому записі меншого з чисел [5].

Досить перспективними модифікаціями СЗК, які на даний час глибоко досліджуються, є розроблена досконала цілочисельна ($m_i = 1$), напівдосконала ($m_i = \pm 1$), нормалізована та розмежована форми СЗК [6].

Алгоритм ідентифікації простого числа з використанням СЗК

Для генерування простого числа можна скористатися розробленим алгоритмом, який дозволяє ефективно шукати прості числа, основна ідея якого полягає в наступному:

1. Маємо останнє просте число $p_i - \max$.
2. Визначаємо двійкове представлення цього числа n - розрядів.
3. Через розмежовану систему числення залишкових класів та властивість періодичності рекурентним шляхом отримуємо залишок числа p_i по заданому модулю:

$$\begin{cases} c_{i+1} = c_i \cdot 2 \bmod p, c_1 = 1, a_1 = 1 \\ b_{i+1} = (c_{i+1} \cdot a_i + b_i) \bmod p, b_1 = 1, i = 1, a_i = 0, 1 \end{cases} \quad (1)$$

Програмним шляхом організовуємо генератор залишків по модулю p_j . В результаті знаходимо зображення цього числа в СЗК до числа простих чисел, які не перевищують $\sqrt{p_i}$ – половина розряду p_i .

4. Додаємо до залишків число 2 по всіх модулях, ця операція припиняється, коли по одному з модулів отримаємо 0. Тоді пропускаємо числа, кратні модулю, по якому залишок дорівнює 0. Операцію повторюємо до тих пір, поки не буде знайдено просте число. Блок схема алгоритму подана рис. 1.

Основними перевагами даного алгоритму ідентифікації простого числа p є використання системи залишкових класів по всіх простих модулях до $\sqrt{p} + 1$, якщо один з залишків рівний нулю, то до залишків додаємо 2 по всіх модулях, ця операція припиняється коли по одному з модулів отримаємо 0. Тоді пропускаємо числа кратні модулю, по якому залишок 0 і знаходимо послідовність простих чисел. Це дозволяє значно зменшити складність алгоритму пошуку простих чисел, за рахунок введення циклу D.

Особливості даної структури, яка по ефективності переважає відомі алгоритми завдяки введенню блоку (3) швидкого перетворення з двійкової системи числення в систему числення залишкових класів та модуля пошуку залишків в розмежованій системі числення. До переваг даного алгоритму можна віднести й те, що операції виконуються тільки над залишками, а не з великими простими числами. Отже, для генерування p – модуля перетворення груп точок ЕК можна скористатися запропонованим алгоритмом, який дозволяє спростити процедуру знаходження простого числа

Реалізація основних модулів, тобто пошуку простих чисел відбувається в програмному середовищі C++ Builder 6.0. Його основна робота починається з завантаження користувачем головної форми за допомогою меню і надається можливість отримати доступ до основних функцій додатку.

Основні можливості додатку розкриваються лише після того, як відбудеться пошук простих чисел.

Для відбору простих чисел передбачено обмеження, пошук буде відбуватися до вказаного в параметрах числа.

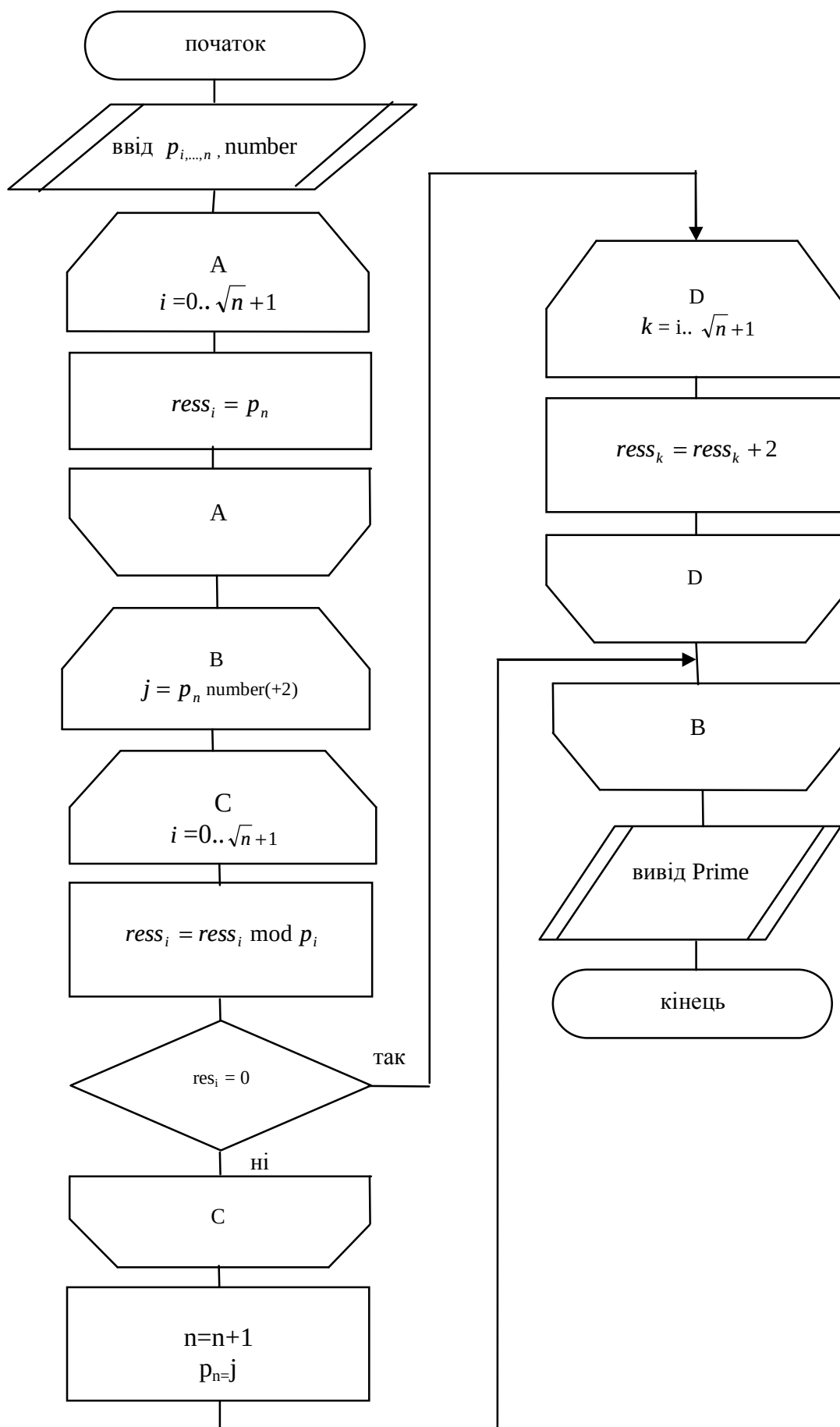


Рис. 1. Блок схема алгоритму генерування простого числа з використанням системи залишкових класів

Основними перевагами даного алгоритму ідентифікації простого числа p є використання системи залишкових класів по всіх простих модулях до $\sqrt{p} + 1$, якщо один з залишків рівний нулю, то до залишків додаємо 2 по всіх модулях, ця операція припиняється коли по одному з модулів отримаємо 0. Тоді пропускаємо числа кратні модулю, по якому залишок 0 і знаходимо послідовність простих чисел. Це дозволяє значно зменшити складність алгоритму пошуку простих чисел, за рахунок введення циклу D.

Особливості даної структури, яка по ефективності переважає відомі алгоритми завдяки введенню блоку (3) швидкого перетворення з двійкової системи числення в систему числення залишкових класів та модуля пошуку залишків в розмежованій системі числення. До переваг даного алгоритму можна віднести й те, що операції виконуються тільки над залишками, а не з великими простими числами. Отже, для генерування p – модуля перетворення груп точок ЕК можна скористатися запропонованим алгоритмом, який дозволяє спростити процедуру знаходження простого числа.

Реалізація основних модулів, тобто пошуку простих чисел відбувається в програмному середовищі C++ Builder 6.0. Його основна робота починається з завантаження користувачем головної форми за допомогою меню і надається можливість отримати доступ до основних функцій додатку.

Основні можливості додатку розкриваються лише після того, як відбудеться пошук простих чисел. Для відбору простих чисел передбачено обмеження, пошук буде відбуватися до вказаного в параметрах числа.

На рисунку 2 показано процес пошуку простих чисел, менших від 1000000. Їх список буде відображений на екрані з вказаним часом початку пошуку та в кінці списку вказаним часом завершення пошуку.

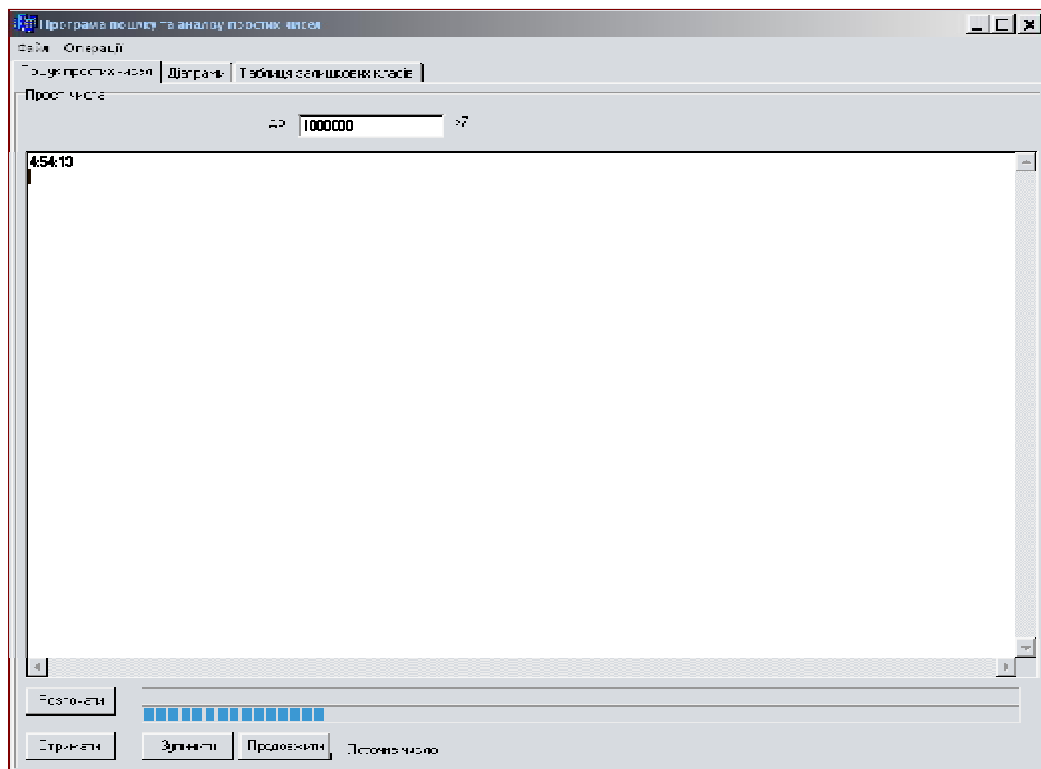


Рис. 2. Процес відбору простих чисел

Також в списку простих чисел будуть відмічені всі прості числа Мерсена та числа Ферма, які представляють особливий інтерес при побудові високопродуктивних спецпроцесорів. Після кожного десяткового представлення через пропуск відображено двійкове представлення чисел (рисунк 3).

Процес пошуку простих чисел відбувається з допомогою створення нового потоку, що дозволяє процесорові розподіляти час між частинами додатку, що в свою чергу забезпечує стабільну роботу, як додатку, так і операційній системі (ОС) в цілому під час обчислень.

Процес відбору простих чисел можна зупинити на певному етапі, та отримати результати пошуку, не очікуючи повного перебору заданого інтервалу.

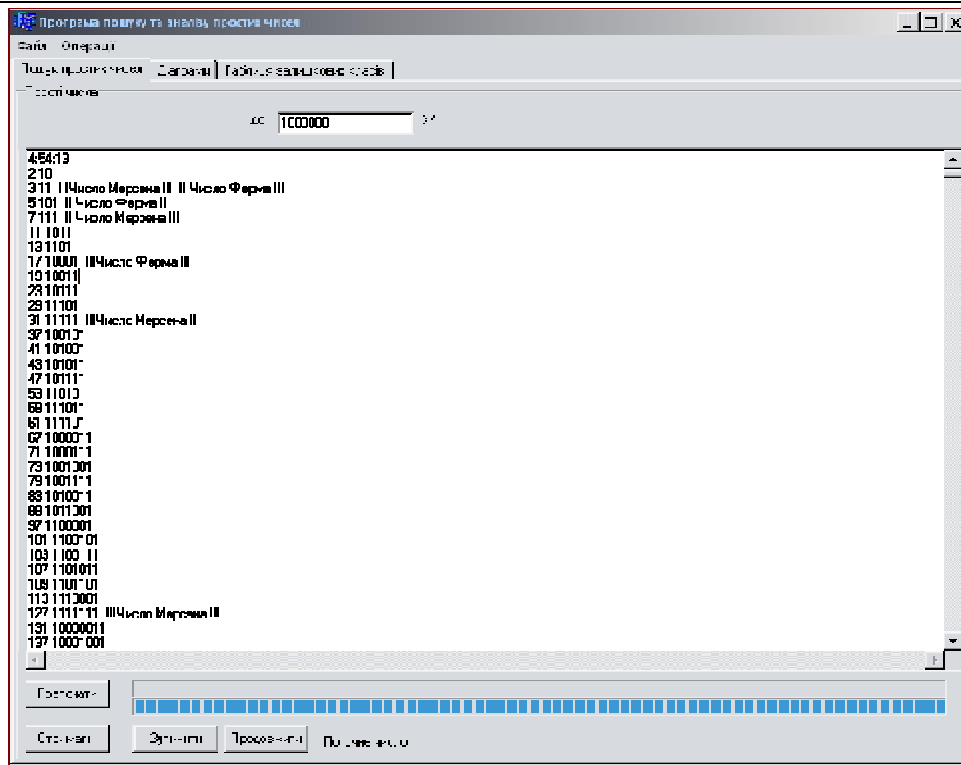


Рис. 3. Результати пошуку простих чисел

Висновки

Викладені теоретичні основи ефективного алгоритму генерування простих чисел, що дозволяє понизити складність базових обчислювальних процесів та оперативно обчислювати прості числа в діапазоні до 2^{256} за 60 с, а в діапазоні 2^{512} за 180 с, які придатні для побудови стійких систем захисту інформаційних потоків з використанням математичного апарату ЕК.

Література

1. Вербіцький О. В. Вступ до криптології / Вербіцький О. В. – Львів, 1998.
2. Ємець В.Ф. Сучасна криптографія. Основні поняття / В.Ф. Ємець, А.О. Мельник, Р.Б. Попович. – Львів, 2003.
3. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исполнение текстов на языке Си. – М., 2003. 4. www.rsasecurity.com.
4. Николайчук Я.М. Теоретичні основи базисних перетворень СЗК / Я.М. Николайчук, Ю.С. Федорович // Матеріали наукової конференції «Автоматика 2000». – Львів, 2000. – С. 120.
5. Задірака В. Комп'ютерна криптологія : підручник / В. Задірака, О. Олексюк – К., 2002. – 504 с.
6. Якименко І.З. Розмежована система числення залишкових класів та спецпроцеси на її основі. / І.З. Якименко, О.І. Волинський // Поступ в науку : збірник праць Буцацького інституту менеджменту і аудиту. – Бучач, 2009. – № 4. Т. 1. – С. 94–98.

Рецензія/Peer review : 6.1.2016 р. Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Я.М. Николайчук

АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІТ МОНІТОРИНГУ ТА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗДОРОВ'Я СТУДЕНТІВ

В статті розглянуто питання побудови програмного забезпечення інформаційної технології, розроблено її структуру, розглянуто специфіку роботи окремих автоматизованих робочих місць лікарів та алгоритму роботи ІТ по переводу стану пацієнта від хвороби до фізичного здоров'я.

Показано, що для оптимізації пацієнтопотоку, формування графіку прийому студентів лікарями і психологами здійснюється двома способами: інтерактивним та автоматизованим. Після відвідування лікарів матеріали повного діагностичного дослідження узагальнюються, систематизуються та оформлюються в остаточному вигляді в консультативному заключенні.

Ключові слова: інформаційні технології, професійний відбір, електронний документообіг, автоматизоване робоче місце.

S.V. TYMCHYK, S.V. KOSTISHYN, S.M. ZLEPKO, R.M. VYROZUB
Vinnytsia National Technical University**ALGORITHMIC SOFTWARE IT MONITORING AND DECISION SUPPORT FOR DETERMINING HEALTH STUDENTS**

Abstract – In article questions of construction of information technology software, developed its structure, the specificity of individual workstations doctors and IT algorithm to transfer the patient from the disease to physical health.

It is shown that to optimize patient stream formation schedule of doctors and psychologists of students in two ways: interactive and automated. After visiting doctors complete diagnostic study materials compiled, systematized and issued in final form in the consultation conclusion.

Keywords: information technology, professional selection, electronic document management.

Вступ

Інформаційні технології на сьогоднішній день є напевно однією з галузей промисловості, що найбільш бурхливо еволюціонує. При цьому темпи зростання цифрової інформації, значно випереджають темпи зростання інформації на паперових носіях. Щодня на світ з'являються нові програмні продукти, вдосконалюються старі технології, впроваджуються нові. Інформаційні технології охоплюють все більше галузей господарства, сприяють автоматизації тих сфер, які раніше були недоступні для цього.

Медична інформація має свою специфіку та збільшення її обсягів супроводжується певними проблемами, які обґрунтовують необхідність створення медичних інформаційних систем (МІС). Дуже часто для прийняття медичних рішень характерні недостатність знання, обмеженість часових ресурсів, відсутність можливості залучення компетентних експертів, неповнота інформації про стан хворого. Зазначені фактори є причинами помилок лікаря, які можуть призвести до подальшої втрати здоров'я пацієнта. Тому поряд з розробкою МІС важливою є задача створення медичних підсистем підтримки прийняття рішень (ПППР), які є інформаційними підсистемами, що функціонують автономно або в складі МІС [1].

Основний текст статті

Одним з векторів розвитку інформаційних технологій є інформатизація медичної галузі. Сьогодні ми чуємо про початок тотальної інформатизації цієї галузі, впровадження медичних інформаційних систем в діяльність медичних лікувальних, профілактичних та реабілітаційних закладів охорони здоров'я. При цьому специфіка медичної галузі в контексті МІС полягає в наступному:

- 1) висока ціна помилки – здоров'я, а, інколи, життя пацієнта;
- 2) помірна швидкодія – від МІС не вимагається абсолютної швидкодії;
- 3) переключення та налаштування на різні типи задач;
- 4) високе значення статистичної звітності;
- 5) специфіка роботи в умовах невизначеності (невідомо кількість супутніх діагнозів).

Все це накладає певні вимоги, яким повинна відповідати МІС при її проектуванні. В свою чергу всі ці вимоги відображаються і на базах даних, які є частинами цих МІС і забезпечують оперування значними масивами даних.

Згідно представлених в [1, 2, 3] структур інформаційних технологій, були визначені основні функціональні групи програмних засобів, які функціонують в її межах – медичні, психофізіологічні, соціальні та організаційно-технічні ПЗ (рис. 1). Всі вони направлені на збір та обробку інформації про студентів та роботу інформаційної системи.

Як видно з вищенаведеної структури, медична частина призначена для забезпечення інформаційною підтримкою лікувального процесу та є найбільш різноманітною з т.з. кількості автоматизованих робочих місць. Це зумовлено значною кількістю лікарів-спеціалістів, які обслуговують весь лікувальний процес. Кожний лікар працює з специфічною предметною областю, тому виникає необхідність в розробленні різноманітних програмних засобів.

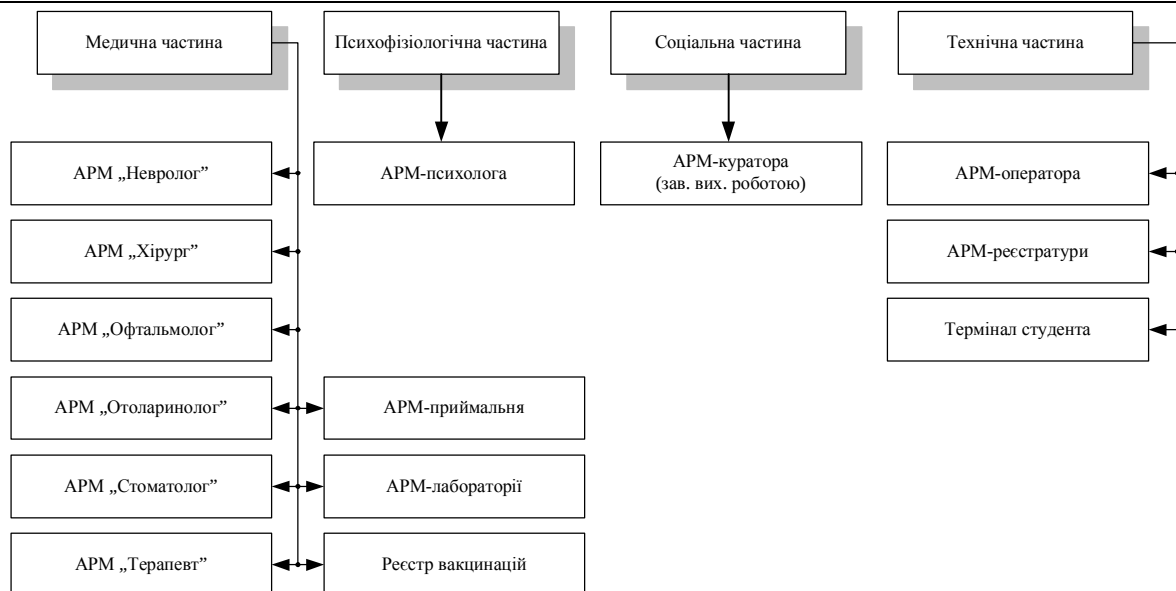


Рис. 1. Структура програмного забезпечення інформаційної технології моніторингу та підтримки прийняття рішення визначення здоров'я студентів

Зв'язок між модулями здійснюється за рахунок протоколу TCP/IP, який функціонує в межах локальної мережі учбового закладу.

Для оптимізації пацієнтопотoku студентів в лікувально-профілактичному відділенні була встановлена відповідна технологія, яка полягає у формуванні графіку відвідування студентами лікарів та психологів, при чому графік формується двома незалежними каналами (рис. 2). При цьому дані канали призводять до взаємозалежних змін єдиного графіку завантаженості кабінетів поліклініки. Перший спосіб (гілка «1» на рисунку) – персональний (інтерактивний), а другий – автоматизований.

Суть першого способу полягає у використанні спеціального терміналу запису на прийом до лікаря, який спеціально сконструйований і має відповідне розроблене програмне забезпечення. Дане ПЗ дозволяє вибрати спеціалізацію лікаря, обрати конкретного лікаря із списку, після чого отримати графік роботи даного лікаря з відображенням зайнятих сеансів. Пацієнт проходить ідентифікацію, обирає зручний для нього час і підтверджує свій вибір.

Після цього графік завантаженості кабінету корегується з урахуванням зайнятого часу. Пацієнту друкується спеціальний інформаційний чек з інформацією про обрані параметри запису. Зображення вікна ПЗ, яке відображається на екрані терміналу запису, показано на рис. 3.

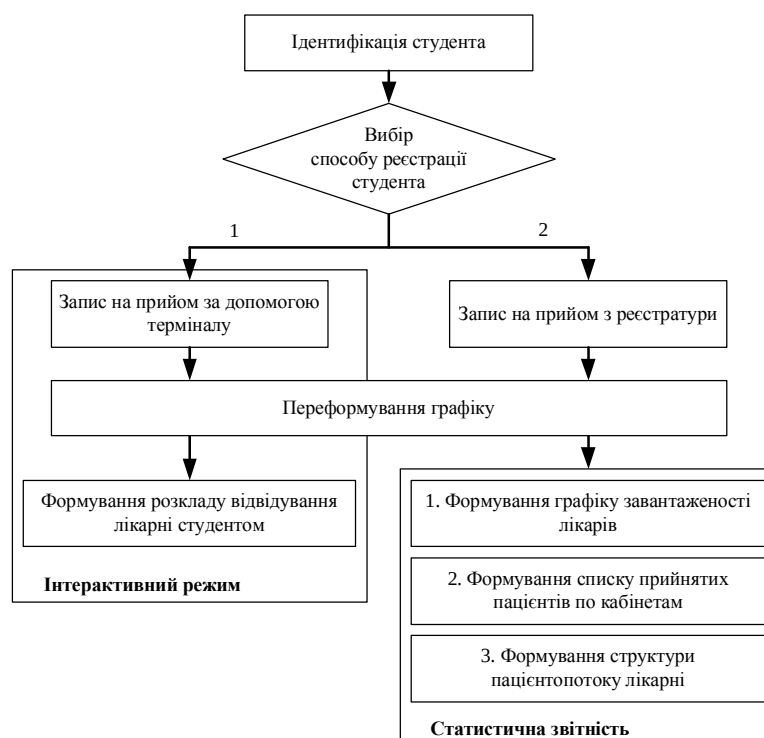


Рис. 2. Структура побудови пацієнтопотoku в лікувально-профілактичному закладі

Другий канал забезпечує формування графіку за допомогою штатних засобів ПЗ «АРМ-Приймальне відділення». При цьому конкретному студенту-пацієнту призначають відповідного лікаря або кількох при його зверненні до приймального відділення поліклініки, де зазначену функцію виконують працівники приймального відділення.

При цьому даний ПЗ автоматично визначає найближчий вільний час прийому для кожного з обраних лікарів, орієнтуючись на те, що пацієнт, який прийшов в приймальне відділення уже на місці та готовий відвідати лікаря. З цього ж модуля забезпечується формування відповідної звітності про структуру та об'єм пацієнтопотоків лікарні, спискові відомості завантаженості кабінетів та лікарів, списки пацієнтів, які були прийняті консультативною поліклінікою та журналів роботи лікарів. Фрагмент вікна ПЗ, який відповідає за вибір лікарів зі списку, зображений на рис. 4.

Процес запису пацієнтів на прийом до лікарів, окрім функції автоматизації розрахунку коефіцієнтів завантаженості лікарів, має ще функцію оптимізації пошуку пацієнтів з БД, які прийшли на прийом. Лікар виконує пошук пацієнтів, які зареєстровані на поточну дату і завантажує відповідну вибірку з БД на локальний ПК, не витрачаючи час на введення кожного прізвища та пошук в БД. Зовнішній вигляд вікна пошуку зображений на рис. 5.

Після знаходження пацієнтів, які записані на обрану дату та проходження їх огляду у відповідному атрибуті кортежу БД ставиться спеціальна мітка. Це дозволяє зафіксувати факт виконання роботи саме в даний час роботи лікаря, що також сприяє організації пацієнтообігу поліклініки.

Рис. 3. Вікно терміналу запису

Рис. 4. Призначення пацієнтів в ПЗ «АРМ-Приймальне відділення»

Рис. 5. Вікно пошуку пацієнтів з графіку прийому

Виконати пошук запланованих пацієнтів можна також і протягом поточної роботи ПЗ.

Досягнення поставленої мети роботи і вирішення задач не можливе без алгоритмічно-програмної реалізації розроблених моделей та побудови повноцінної багатофункціональної інформаційної системи. Покажемо це на прикладі моделі поетапного переведення пацієнта з стану хвороби в стан здоров'я. Дана модель реалізує етапи процесу діагностування-лікування-реабілітації, який в кінцевому результаті повинен забезпечити перебування пацієнта у стані здоров'я. Відповідно, для кожного етапу необхідно прописати програмний засіб загальної структури системи, який буде його реалізовувати. Алгоритмічне функціонування системи представлено на рисунку 6. Слід зауважити, що всі ПЗ пов'язані між собою через центральний сервер, на якому зберігається інформація у вигляді БД.

В контексті даної ІС, цей процес починається з реєстрації студента в системі, виділенні йому необхідних прав доступу, заповненні початкової персональної інформації про нього. Реалізація цього кроку досягається за допомогою використання модуля «АРМ-ресетратура».

Виконання цього кроку забезпечує активацію персонального аккаунту студенту в системі. Студент отримує ідентифікаційний номер та пароль. За допомогою цих даних він може переглядати персональну інформацію, змінювати її за необхідності, у т.ч. з метою підтримки її актуальності.

Після реєстрації студента в системі з'являється можливість автоматично сформувати для нього медичні, психологічні та соціальні картки. При цьому кожна з карток містить певну специфічну інформацію, яку не можливо отримати при його реєстрації. Тому студенту необхідно відвідати працівників кожного спеціалізованого напрямку.

Процес обходу починається з медичного профілактичного огляду. Працівник, який його виконує працює з ПЗ «АРМ-Приймальне відділення».

В даному модулі заповнюється первинна медична інформація про студента, а саме антропометричні дані, дані про історію хвороб і т.ін. Результат цього етапу – формування електронної медичної картки №025-3/о, яка в подальшому буде заповнюватися лікарями інших структур поліклініки.

При виникненні ситуації, коли студент захворів, лікарі приймального відділення формують стратегію діагностування – послідовність лікарів, яких необхідно відвідати. Пацієнта записано на прийом до кожного із визначених лікарів, кожен із яких, провівши огляд, лікар заповнює відповідну базу даних. Разом з цим може виникнути необхідність у проведенні лабораторних аналізів. В цьому випадку студенту виписується електронне направлення, яке фіксується ПЗ «АРМ-Лабораторія».

Матеріали повного діагностичного дослідження узагальнюються, систематизуються і його остаточні результати формулюються в консультативному заключенні, де розробляється загальна стратегія лікування пацієнта.

Після того, як діагностичне дослідження пацієнта згідно моделі завершено, починається другий етап – лікування пацієнта у відповідності до розробленої стратегії лікування.

Розроблена стратегія лікування формує послідовність контрольних точок, призначення яких полягає в тому, що пацієнт відвідує певного лікаря, проходить обстеження, в результаті якого формується набір психофізіологічних показників пацієнта з прив'язкою до певної дати. Таким чином відбувається інформаційне наповнення контрольної точки коли сукупність таких дат і формує послідовність контрольних точок. При цьому, при необхідності, паралельно здійснюється медикаментозна корекція стану організму пацієнта.

При цьому лікар може використовувати спеціальні часові маркери, призначення яких полягає у відображенні того чи іншого медикаментозного впливу. Така крива буде адекватною динамічному процесу лікування, що дозволить відстежувати певні тенденції в здоров'ї студентів.

Оскільки стан хвороби, як правило, різнобічний, то і обстеження бажано провести серед множини лікарів *N*. Після завершення лікування і підтвердження відсутності хвороби у пацієнта, процес переходить до наступного етапу – реабілітації.

Протягом лікування або після його завершення лікар може переглянути динамічну зміну конкретного показника у часі на часовій діаграмі (рис. 7).

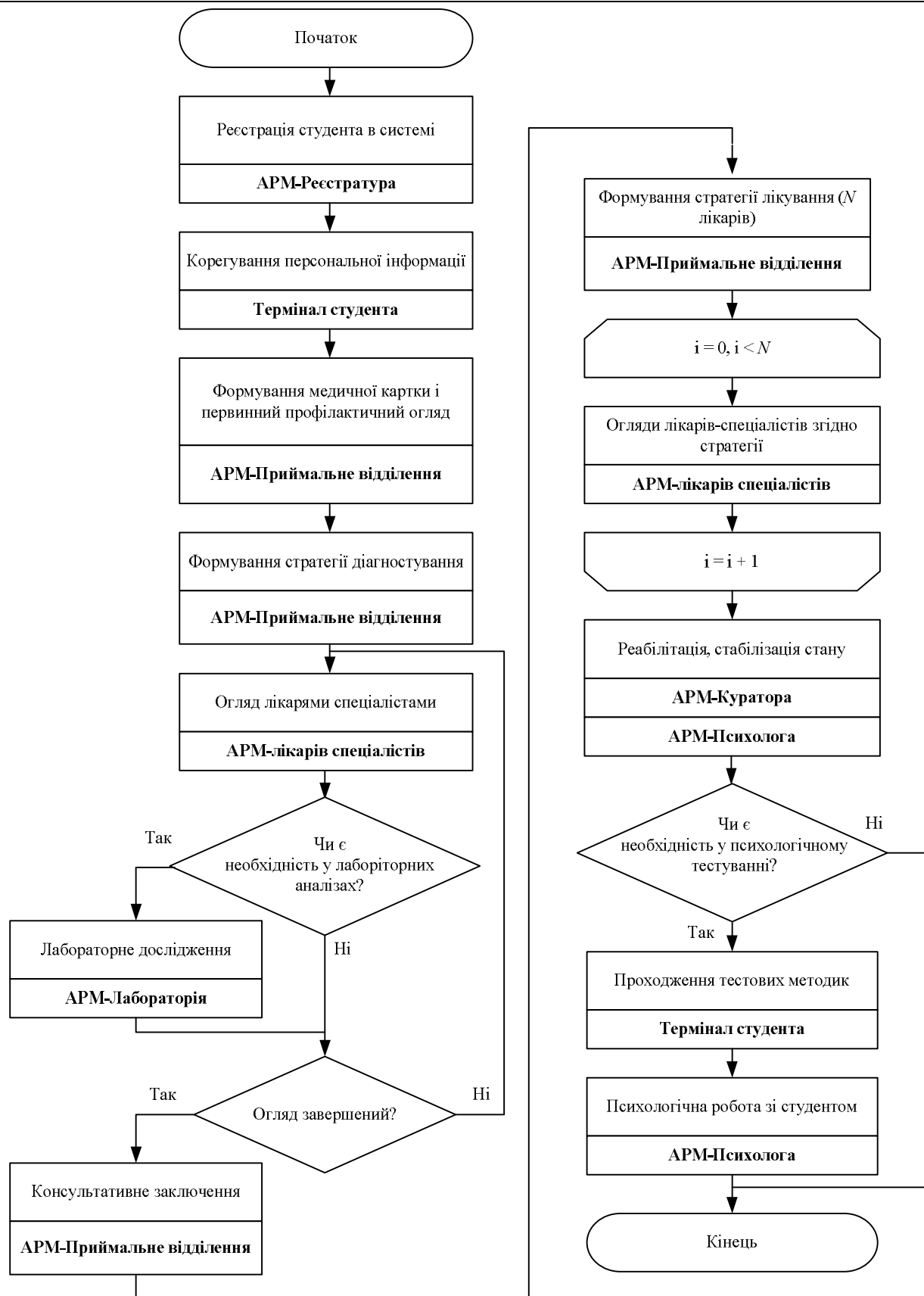


Рис. 6. Алгоритм роботи ІТ по функції переведення стану пацієнта від хвороби до фізичного здоров'я

В розробленій системі даний етап забезпечується двома ПЗ – «АРМ-Психолога» та «АРМ-куратора». Дані ПЗ, діючи паралельно один з одним, сприяють переведенню пацієнта до стану повного фізичного здоров'я. Робота з ними покладається на відповідальних працівників – психолога та куратора або іншого відповідального за виховну роботу зі студентами.

Температура

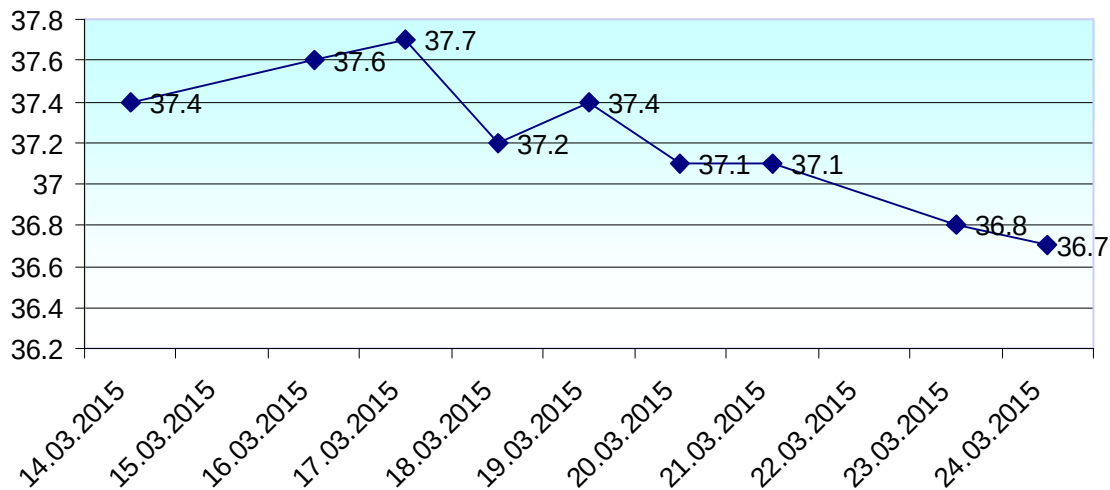


Рис. 7. Зразок перегляду динамічної зміни параметрів

Функціонування «АРМ-Психолога» полягає в формуванні картки психологічного забезпечення та її наповненні відповідною діагностичною інформацією, яка формується внаслідок проходження тестових методик, що входять до складу ПЗ «Термінал студента». При необхідності проведення психологічного тестування, для студента формується перелік тестів, після проходження яких в базу даних вносяться відповідні «сирі» результати. При цьому студент не знає кінцеві оброблені висновки і не знає, як саме їх обрахувати. Ці результати інтерпретуються за допомогою ПЗ «АРМ-Психолога» і доступні лише для обмеженого кола користувачів, які приймають кінцевий висновок про стабілізацію стану пацієнта.

Висновки

Розроблено структурну схему програмного забезпечення інформаційної технології, яка поєднавши біологічні і технічні об'єкти, підвищила ефективність інформаційних процесів взаємодії груп біологічних об'єктів із спеціалізованими засобами контролю та управління станом їх здоров'я, що дало змогу включати до її складу додаткові технічні засоби забезпечення і підтримки життєдіяльності усіх членів групи фахівців.

Література

1. Інформаційні технології в біології та медицині: курс лекцій: навчальний посібник / Гриценко В.І., Котова Л.Б., Вовк М.І. та ін. – Київ : Наук. думка, 2007. – 382 с.
2. Информационные технологии в медицине 2011-2012 / под ред. Г.С. Лебедева и Ю.Ю. Мухина. – М. : Издательство «Радиотехника», 2012. – 208 с. – ISBN 978-5-88070-327-2.
3. Творошенко И.Г. Структура и функции интеллектуальных средств принятия решений в сложных системах / И. Г. Творошенко // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 462–470.

Рецензія/Peer review : 20.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

Рецензент: проведено редколегією

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ФОРМУВАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ЧИСЕЛ

В роботі проаналізовано методи та засоби формування псевдовипадкової послідовності чисел. В результаті аналізу зібрано основні дані для вибору оптимальних засобів формування псевдовипадкової послідовності чисел за основними показниками ефективності.

Ключові слова: псевдовипадкова послідовність, генератор псевдовипадкових чисел.

V.S. PETRUSHAK, I.V. STOLYARCHUK

Khmelnytsky National University

ANALYSIS THE METHODS AND MEANS OF FORMING PSEUDORANDOM SEQUENCE OF NUMBERS

The work analyzes the methods and means of forming pseudorandom sequence of numbers. As a result of collected basic data to select the optimum means of forming pseudorandom sequence numbers in key performance indicators.

Keywords: pseudorandom sequence, pseudorandom number generator.

Вступ

В умовах стрімкої інформатизації суспільства, широкого застосування засобів обчислювальної техніки та комп'ютерних систем особливу актуальність набувають питання інформаційної безпеки, найбільш складними з яких є необхідність захисту цінної конфіденційної і секретної інформації в державних і приватних підприємствах, в органах і установах державного управління, банківської справи та інших системах. Збільшення обсягів оброблювальних і переданих даних у комп'ютерних системах та мережах вимагає нових підходів до протоколів і механізмів забезпечення безпеки переданих даних.

Незважаючи на широке застосування різних криптографічних алгоритмів на різних рівнях захисту інформаційні системи схильні до різних атак і загроз. Під загрозою розуміють можливий вплив на інформаційну систему, який прямо чи побічно може завдати шкоди її безпеки. [1]

Для забезпечення безпеки комп'ютерних систем критично важливо мати алгоритми, що задовольняють такому критерію як непередбачуваність. Іншими словами, навіть знаючи алгоритм генератора й всі попередні елементи послідовності, повинне бути максимально трудомістким обчислення наступних елементів.

Для забезпечення захисту від загроз безпеки використовуються різні криптографічні механізми. Для побудови механізмів захисту інформації використовують методи криптографічної обробки інформації. Важливе місце в розвитку сучасних механізмів забезпечення безпеки інформаційних систем і технологій займає використання псевдовипадкових чисел (ПВЧ) і відповідно генераторів псевдовипадкових чисел (ГПВЧ). Вони використовуються для вирішення наступних завдань: хешування інформації, побудови синхронних і само синхронізуючих поточних шифрів, формування ключової інформації і т. д. [2]

Генератор псевдовипадкових чисел (ГПСЧ, англ. Pseudorandom number generator, PRNG) – алгоритм, що генерує послідовність чисел, елементи якої майже незалежні один від одного і підкоряються заданому розподілу (зазвичай рівномірному).

Ці програми та пристрої насправді генерують детерміновані послідовності, які тільки здаються випадковими за своїми властивостями але насправді підпорядковані деякому закону і, як правило, рано чи пізно зациклюється і тому називаються псевдовипадковими послідовностями.

Найважливіша характеристика генератора псевдовипадкових чисел - це інформаційна довжина його періоду, після якого числа будуть або просто повторюватися, або їх можна буде передбачити [4].

Експериментальна частина

Одним з перших таких методів генерування псевдовипадкових чисел був метод, запропонований в 1946 році Д. фон Нейманом [3].

Основна ідея методу полягає у тому, що ГВЧ формує наступний елемент послідовності на основі попереднього шляхом піднесення його до квадрату і виділення середніх цифр отриманого числа.

Однак він має недоліки:

- якщо який-небудь член послідовності виявиться рівним нулю, то всі наступні члени також будуть нулями;
- послідовності мають тенденцію "зациклюватися", тобто з рештою, утворюють цикл, що повторюється нескінченне число раз;
- властивість "зациклюватися" притаманна всім послідовностям, побудованих по рекурентній формулі;

Недоліки методу серединних квадратів обмежують його практичне застосування, хоча раніше до цього методу вдавалися завдяки його простоті.

Метод середин квадратів фон Неймана, як було показано, фактично є порівняно бідним джерелом випадкових чисел. Небезпека полягає в тому, що послідовність прагне ввійти у звичну колію, тобто короткий цикл повторюваних елементів [4].

Іншим методом є так званий лінійний конгруентний спосіб, що був запропонований Д. Х. Лемером в 1948 році. Такий спосіб генерування псевдовипадкових чисел застосовується в простих випадках і не має криптографічної стійкості. Використовується в якості стандартного генератора з багатьма компіляторами.

Основна обчислювальна формула має вигляд:

$$x_{n+1} = (ax_n + c) \bmod m \quad (1)$$

Алгоритм зациклюється з періодом, що не перевищує деякого m . Коефіцієнти a , m і $x(0)$ можуть приймати довільні цілі значення, за винятком 0. Параметр c може бути також і 0, але в цьому випадку скорочується період повтору. Число ітерацій m зазвичай вибирається рівним максимальному значенню типу, що робить непотрібною операцію ділення, яка автоматично виконається при переповненні. Число a можна взяти рівним, наприклад, 1664525, c - рівним 1013904223. Такий метод часто реалізують в сучасних системах програмування, хоча він майже непридатний у галузі статистики чи криптографії, де вимоги до „випадковості” значно вищі.

Отримана послідовність залежить від вибору стартового числа x_0 і при різних його значеннях отримуємо різні послідовності випадкових чисел. У той же час, багато властивостей послідовності x_j визначаються вибором коефіцієнтів у формулі і не залежать від вибору стартового числа. Ясно, що послідовність чисел, що генерується таким алгоритмом, періодична з періодом, що не перевищує m .

При реалізації вигідно вибирати $m = 2^e$, де e - число біт у машинному слові, оскільки це дозволяє позбутися від відносно повільної операції приведення по модулю [4].

У 1986 році троє авторів Ленор Блюм, Мануель Блюм і Майкл Шуб запропонували алгоритм генерації псевдовипадкової послідовності, стійкий до зворотних перетворень. Основна рекурентна формула алгоритму має вигляд:

$$x_n = (x_{n-1})^2 \bmod pq \quad (2)$$

де p і q - два великих простих числа.

Для підвищення якості отриманої послідовності при наступному кроці обираються не всі біти x_n , а лише менші, або навіть біти парності. З отриманих «випадкових бітів» формуються двійкові псевдовипадкові числа довільної розрядності. Однією з особливостей обчислювальної формули є наскрізна можливість обчислити x_n без генерації всіх попередніх членів послідовності.

$$x_n = x_0^{2^n \bmod ((p-1)(q-1))} \bmod pq \quad (3)$$

Даний алгоритм більш вимогливий до обчислювальних ресурсів, але, з іншого боку, має гарні статистичні характеристики.

Цей генератор підходить для криптографії, але не для моделювання, тому що він не достатньо швидкий. Однак, він має надзвичайно високу стійкість, яка забезпечується якістю генератора виходячи з обчислювальної складності задачі факторизації чисел [3].

Не менш цікавим методом утворення псевдовипадкових послідовностей є вихор Мерсенна, який було розроблено в 1997 японськими вченими Макото Мацумото і Такудзі Нісімура. Такий метод забезпечує швидку генерацію високоякісних псевдовипадкових чисел, і був розроблений з урахуванням помилок, знайдених в інших алгоритмах.

Існують ще найменше два загальних варіанти алгоритму, що відрізняються лише розміром простого числа Мерсенна. Новітній і найбільш поширений називається Mersenne Twister MT 19937.

Перевагами цього методу є:

- колосальний період ($2^{19937} - 1$);
- рівномірний розподіл в 623 вимірах (для порівняння лінійний конгруентний метод генерує розподіл в 5 вимірах);
- швидка генерація випадкових чисел (в 2-3 рази швидше, ніж стандартні ГПВЧ, що використовують лінійний конгруентний метод);

Разом з тим існують складні алгоритми, що розпізнають послідовність, яка утворюється за допомогою вихору Мерсенна як не випадкову. Це унеможливило використання вихору Мерсенна в криптографії.

«Вихор» - це перетворення, що забезпечує рівномірний розподіл псевдовипадкових чисел в 623 вимірах. Тому кореляція між послідовними значеннями у вихідній послідовності алгоритму вихору Мерсенна дуже мала.

Інший клас генераторів псевдовипадкових послідовностей заснований на використанні послідовностей Фібоначчі. Класичний приклад такої послідовності $\{0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34 \dots\}$ - за винятком перших двох її членів, кожний наступний член дорівнює сумі двох попередніх.

Особливості розподілу випадкових чисел, що генеруються лінійним конгруентним алгоритмом, роблять неможливим їх використання в статистичних алгоритмах. У зв'язку з цим лінійний конгруентний

алгоритм поступово втратив свою популярність, і його місце зайняло сімейство алгоритмів Фібоначчі, які можуть бути рекомендовані для використання в алгоритмах побудови псевдовипадкових чисел.

Запропоновано спосіб побудови модифікованого адитивного генератора Фібоначчі, в якому введення додаткової складової в процес додавання, дає змогу формувати псевдовипадкові числа за модулем, що дорівнює ступеню двійки, і тим самим істотно спрощує його апаратну реалізацію у порівнянні з відомими рішеннями, при збереженні високих статистичних характеристик ГПВЧ, побудованих на його основі. При цьому період повторення псевдовипадкової послідовності збільшується на кілька порядків у порівнянні з ГПВЧ на основі класичного генератора Фібоначчі, наприклад, у 15 разів при застосуванні логічної схеми з трьох логічних функцій і у 2290 раз – з семи логічних функцій.

Висновки

У теорії ніякий детермінований алгоритм не може генерувати повністю випадкові числа, а тільки апроксимувати деякі властивості випадкових чисел. Тому у принципі будь-який генератор випадкових чисел на практиці завжди є лише генератором псевдовипадкових чисел, проте завдання розробника генератора полягає в тому, щоб зробити алгоритм якомога більш варіаційним.

Розглянувши основні методи генерування псевдовипадкових чисел найкращими характеристиками володіє вихор Марсенна та метод Фібоначчі, адже випадкові числа, отримані за допомогою таких методів, мають гарні статистичні властивості, причому всі біти випадкового числа рівнозначні за статистичних властивостей. У методі лінійно конгруентної послідовності ілюструється той факт, що така послідовність завжди утворює петлі, тобто обов'язково існує цикл, що повторюється нескінченне число разів (перетворить кінцеву множину саму в себе). Метод середин квадратів фон Неймана має порівняно вузький спектр випадкових чисел. Небезпека полягає в тому, що послідовність прагне ввійти у звичну колію, тобто короткий цикл повторюваних елементів. Наприклад, кожна поява нуля як числа послідовності приведе до того, що всі наступні числа також будуть нулями.

Література

1. Поповский В.В. Защита информации в телекоммуникационных системах: Учебник / В.В. Поповский, А.В. Персиков; Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Х.: "Компания Смит", 2006. 238 с.
2. Иванов М.А. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей / М.А. Иванов, И.В. Чугунков. М.: КУДИЦ- ОБРАЗ, 2003. 240 с.
3. Конгруэнтний метод формування псевдовипадкових чисел – Режим доступу.: <http://cppstudio.com/uk/post/1296/>.
4. Генерація випадкових чисел – Режим доступу.: https://uk.wikipedia.org/wiki/Генерація_випадкових_чисел.

Рецензія/Peer review : 1.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 16.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Ройзман В.П.

С.М. БОЙКО, І.О. ГУБІН, О.В. ОМЕЛЬЧЕНКО
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

ЛАБОРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЛЕКТИВНОСТІ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

У статті запропоновано лабораторний стенд для дослідження селективності релейного захисту. Лабораторний стенд багатофункціональний. На лабораторному стенді є можливість проводити дослідження селективності релейного захисту на базі аналогових реле, комп'ютеризованих систем з різними типами програмного забезпечення та алгоритмами захисту та проведення аналізу селективності релейного захисту на базі комбінованих аналогових реле та комп'ютеризованих систем. Лабораторний стенд рекомендується для використання при підготовці спеціалістів електроенергетичних спеціальностей та для проведення наукових досліджень.

Ключові слова: системи електропостачання, лабораторний комплекс, комп'ютеризовані системи, селективність релейного захисту, аналогові реле, вимірювальні трансформатори, імітування короткого замикання.

S.M. BOYKO, I.O. HUBIN, O.V. OMELCHENKO
Kremenchuk National University named after Michael Ostrogradskiy,
S.Y. VYSHNEVSKY
Vinnytsia National Technical University

LABORATORY COMPLEX FOR THE RESEARCH SELECTIVITY OF RELAY PROTECTION

Abstract – The article suggests the laboratory complex for the study selectivity of relay protection. Laboratory booth is a multifunctional complex. There is a possibility on the laboratory booth to carry out the research selectivity of relay protection based on the analogue relay, computerized systems with different types of software and algorithms of protection and to carry on analysis selectivity of relay protection based on combined analogue switches and computerized systems. Proposed laboratory booth is recommended for preparation of specialists of the electric power specialties and for carrying out scientific research.

Keywords: systems of electricity supply, laboratory complex, computerized systems, selectivity of relay protection, analogue switches, instrument transformers, short circuit simulation.

Вступ

Останніми роками в енергосистемі України широко впроваджуються сучасні пристрої релейного захисту, виконані на базі мікропроцесорної техніки. Завдяки цьому з'являється можливість розробляти та застосовувати нові алгоритми захисту різних складових енергосистеми. Завдання їх розробки стає все більш актуальним у зв'язку з розвитком енергетики і, як наслідок, посиленням вимог до надійності і швидкодії релейного захисту [1].

В свою чергу системний підхід для вирішення цього питання неможливий без глибокого теоретичного та практичного опрацювання технічних рішень, та підготовки кваліфікованих фахівців.

При цьому розуміння процесів, володіння методами їх реалізації, орієнтування у різноманітні технічних засобів, ставить перед викладачами задачу розробки відповідного лабораторного обладнання, яке повинно бути інструментом для підвищення ефективності опанування студентами теоретичних положень та набуття практичних навичок.

Актуальність роботи. У зв'язку з досить високими темпами технічної реалізації систем релейного захисту та впровадження їх у виробництво, є необхідність розробки лабораторного обладнання, яке дозволить вивчити та дослідити селективні можливості різних систем, а також бути використаним для підготовки фахівців відповідного рівня [2].

Мета роботи. Метою роботи є аналіз функціональних можливостей лабораторного комплексу для дослідження характеристик селективності релейного захисту систем електропостачання.

Матеріал і результати досліджень

Тривалий період експлуатації устаткування призводить до морального й фізичного старіння систем релейного захисту та автоматики. Оскільки ремонт цього устаткування часто ускладнений, внаслідок зняття з виробництва багатьох елементів, то одним з шляхів підвищення надійності, розширення функціональних можливостей та поліпшення загальних характеристик, систем релейного захисту є модернізація устаткування, що передбачає часткову або повну заміну аналогового обладнання на сучасні мікропроцесорні термінали.

Існуючі у наш час пристрої релейного захисту виконані, в основному, на аналогових електромеханічних та напівпровідникових статичних реле, а також на базі аналогових інтегральних мікросхем. Принципи виявлення uszkodжень і алгоритми функціонування релейного захисту на базі цих елементів мають незначні відмінності. Пристрої цього типу функціонально являють собою кінцеві автомати із твердою логікою.

Основним недоліком систем релейного захисту на базі аналогових пристроїв є велика кількість елементів, що спричиняє необхідність застосування окремих шаф, ускладнює проведення профілактичних перевірок працездатності устаткування, що супроводжується ростом кількості обслуговуючого персоналу й зниженням надійності. Дане положення збільшується при реалізації нових функцій, наявних у мікропроцесорних пристроях. Крім того, для пристроїв захисту й автоматики на електромеханічній і напівпровідниковій базі характерні:

- зміна параметрів уставок під впливом зовнішніх факторів;
- значний час відключення міжфазних коротких замикань;
- неможливість створення багаторазових пристроїв автоматичного повторного включення;
- труднощі у виконанні пристроїв, «які запам'ятовують» надструми короткого замикання й струми замикання на землю та, отже, неможливість використання цього захисту у якості пристроїв для діагностики uszkodження на лініях, що секціоновані і лініях з відгалуженнями до підстанцій;
- відсутність ефективного захисту від однофазних замикань на землю;
- складність дистанційного керування через відсутність можливості зв'язку із цифровими системами управління.

Перераховані недоліки аналогових пристроїв систем релейного захисту, спонукають до модернізації устаткування, швидкий розвиток та здешевлення цифрової техніки сприяють росту кількості електричних станцій, підстанцій та інших енергооб'єктів, які оснащені мікропроцесорними пристроями релейного захисту й автоматики, лічильниками електроенергії й іншим устаткуванням, як вітчизняного, так і закордонного виробництва.

Таким чином, подальший розвиток аналогових пристроїв релейного захисту може здійснюватися тільки екстенсивним шляхом, тобто нарощуванням додаткових апаратних засобів. У зв'язку з цим, головним напрямком модернізації техніки релейного захисту й автоматики варто визнавати заміну систем релейного захисту аналогового типу на цифровий, на базі мікропроцесорної техніки.

Цифрові захисти забезпечують виконання як основних функцій, реалізованих аналоговими релейними захистами, так і додаткових. Їх встановлюють не просто для заміни аналогових пристроїв релейного захисту, а з метою використання для організації нижнього рівня систем управління електроенергетики, що дозволяє автоматизувати збір, обробку й зберігання інформації із пристроїв захисту.

Застосовувані мікропроцесорні пристрої релейного захисту й автоматики мають широкий діапазон уставок і можливостей зміни характеристик спрацювання за часом, напрямком й фазовим зрушенням вимірюваних величин. Вони легко узгодяться з устаткуванням на електромеханічні реле, але в порівнянні з останнім, мають ряд переваг. Тому на етапі розробки лабораторного комплексу було враховано ряд критеріїв, яким має відповідати лабораторно-дослідницький комплекс [3]:

- універсальність, тобто охоплювати широкий спектр електротехнічного обладнання яке використовується на виробництві і яке можна вивчити та дослідити;
- можливості модульного доповнення (за необхідності, розширення функціональних можливостей).

Функціональна схема лабораторного комплексу представлена на рис. 1. До його складу входять наступні елементи: трансформатори струму ТС1-3; датчик струму ДС; датчик напруги ДН; пристрої, що імітують коротке замикання ПП1-3; узгоджуючий пристрій ПП; аналогові реле струмового відсічення та максимального струмового захисту різних типів СЗ1-п; пристрій релейного захисту ПЗ; цифрово-аналоговий перетворювач ЦАП; аналогово-цифровий перетворювач АЦП; комп'ютер ЕОМ; робочий пристрій РП1-3; навантаження Н1-3; А1-3, аналогове вимірювальне обладнання В1-3.

Лабораторний стенд є багатофункціональним і працює у трьох режимах. У першому режимі роботи, на лабораторному стенді можливо проводити дослідження селективності релейного захисту на базі аналогових реле та обробляти результати за допомогою комп'ютеризованої системи. У другому режимі роботи, на стенді, що розглядається, є можливість проводити дослідження селективності релейного захисту на базі комп'ютеризованих систем з різними типами програмного забезпечення та алгоритмами захисту та обробляти результати за допомогою комп'ютеризованої системи. У третьому режимі роботи, є можливість проводити дослідження та аналіз селективності релейного захисту на базі комбінованих аналогових реле та комп'ютеризованих систем та обробляти результати за допомогою комп'ютера [4, 5].

Таким чином після підключення лабораторного стенду до мережі відбувається запуск ЕОМ та програмного забезпечення, живлення АЦП, ЦАП та підключення навантаження відповідного типу та необхідного номіналу.

Значення струму та напруги фіксуються відповідно датчиками струму за допомогою вимірювальних трансформаторів струму та напруги, які подають відповідний струм (тобто струм згідно їх коефіцієнту трансформації) на СЗ та паралельно на узгоджуючий пристрій в схемі з ЕОМ.

В схемі з ЕОМ сигнал з ПП надходить до аналогово-цифрового перетворювача АЦП, який і надає цифровий сигнал на ЕОМ, де відповідне програмне забезпечення дає змогу регулювати уставки струму, швидкість спрацювання та інше управління захистом.

При перевищенні допустимого струму на одному із ступенів, при імітації короткого замикання за допомогою імітуючих пристроїв ПП, спрацює захист відповідно до встановлених уставок струму та відповідного ступеня селективності, що попередньо розраховуються.

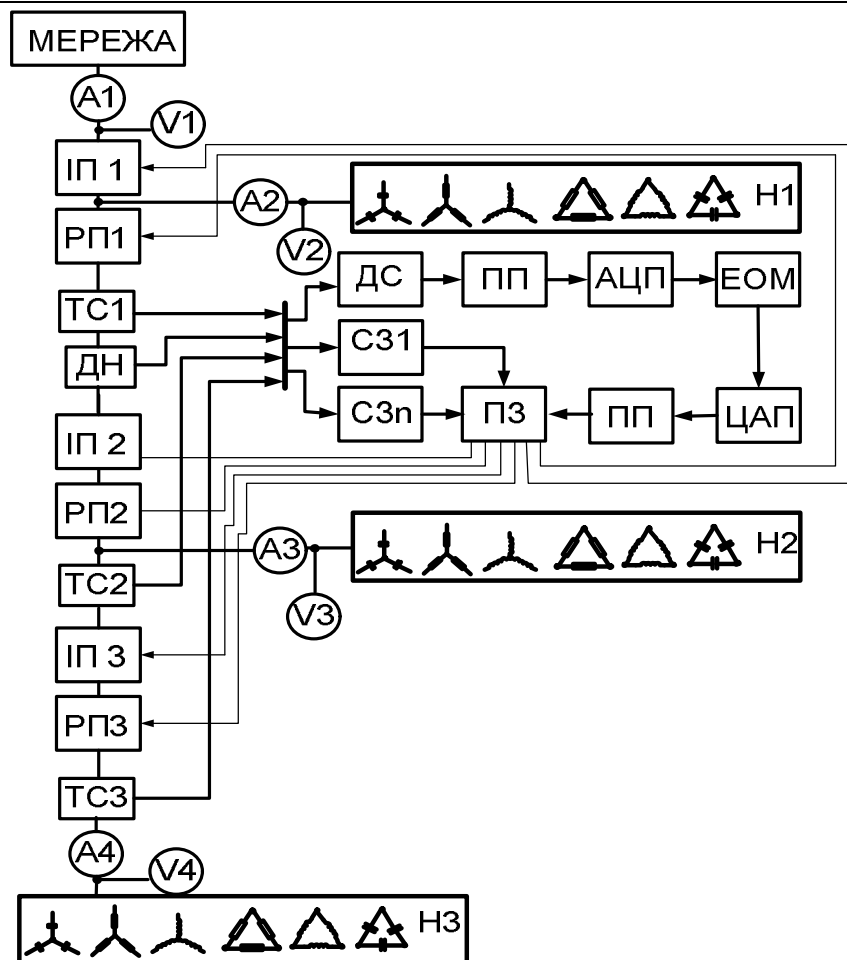


Рис. 1. Структурна схема стенду по дослідженню селективності релейного захисту

Після знеструмлення робочого пристрою, котушки пускача, розмикаються його контакти (РП1-РП3), які відключають відповідне навантаження від мережі.

Таким чином за допомогою лабораторного стенду для дослідження селективності релейного захисту, завдяки імітації короткого замикання, за допомогою імітуючих пристроїв, в зоні дії відповідних ступенів релейного захисту, є можливість досліджувати максимальний струмовий захист та струмове відсічення, що виконане на базі аналогових пристроїв і комп'ютеризованої системи релейного захисту, завдяки якій відбувається управління лабораторним стендом, та фіксування результатів досліджень, є можливість підключення навантаження різного типу та номіналу, що дає можливість імітувати реальні та можливі режими роботи релейного захисту та, за допомогою аналогових приладів та електронної системи збору даних, досліджувати вплив різних режимів налаштування та роботи релейного захисту при різних типах навантаження та на різних ступенях спрацювання [6–8].

Також на стенді є можливість налагоджування уставок реле, шляхом попереднього розрахунку, за допомогою відповідної методики та вивчати різні системи релейного захисту та їх елементи.

Лабораторний стенд дозволяє проводити наступні напрями досліджень [9–12]:

- дослідження енергетичних характеристик та перехідних процесів системи електроживлення при роботі на різне по характеру навантаження;
- дослідження селективності релейного захисту систем електропостачання у різних режимах роботи;
- дослідження динамічних та статичних характеристик реальних режимів роботи, шляхом імітування короткого замикання на різних ділянках системи електропостачання.

В основу створення обладнання стенду поставлено наступні задачі:

- дослідження технічних характеристик аналогових та цифрових систем управління релейного захисту та автоматики;
- дослідження енергетичних характеристик системи при селективному спрацюванні релейного захисту у різних режимах роботи з різним типом навантаження, шляхом створення змінного навантаження;
- дослідження енергетичних характеристик системи при селективному спрацюванні релейного захисту у різних режимах роботи з різним типом навантаження, шляхом імітування короткого замикання на різних ділянках системи електропостачання.

Особливістю даного лабораторного комплексу є можливість побудови на його базі за поданою структурною схемою стендів для дослідження різних видів захисту силового обладнання [13].

Висновки

Лабораторний стенд для дослідження селективності релейного захисту, підвищує якість підготовки фахівців, тому що дозволяє наочно демонструвати та дослідити різні режими роботи та принципи селективності релейного захисту на базі різних типів реле. Розроблений лабораторний комплекс рекомендується для використання при підготовці спеціалістів електроенергетичних спеціальностей та для проведення наукових досліджень.

Література

1. Y. Liamets, A. Podchivaline, A. Chevelev, G. Nudelman, J. Zakonjsek, Informational tasks of relay protection, Sydney, Australia, CIGRE SC B5 Colloquium and Meeting. 2003. Report 213.
2. Лямец Ю.Я. Теория уставок / Ю.Я. Лямец, Е.Б. Ефимов, Г.С. Нудельман // Актуальные проблемы релейной защиты : сб. докл. науч. практ. конф. – М., 2001. – С. 106–111.
3. Кержаев Д.В. Исследование распознающей способности дифференциального принципа релейной защиты / Д.В. Кержаев, Д.В. Блинов // Сборник докладов первой международной конференции молодых специалистов ABS. – 2009. – С. 86–89.
4. Y. Liamets, D. Kerzhaev, S. Ivanov, A. Podshivalin, J. Zakonjsek, G. Nudelman, Electrical power system conditions hierarchy in methodology of relay protection education, Madrid, Spain, Colloquium SC B5 CIGRE Committee. 2007.
5. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. – М. : Издательство МЭИ, 2000. – 156 с.
6. Y. Liamets, A. Pavlov, S. Ivanov, G. Nudelman, Virtual relays: theory and application to distance protection, CIGRE SC B5 Colloquium. Australia, Sydney, 2003. Paper 308.
7. Ефимов Е.Б. Оптимальная фазовая селекция коротких замыканий в линиях электропередачи : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. / Е.Б. Ефимов. – Чебоксары : ЧувГУ, 2002.
8. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем : учеб. пособие для техникумов / Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. – М. : Энергоатомиздат, 1998.
9. Озорнин С.О. Повышение селективности сигнализации однофазных замыканий на землю в сети с компенсированной нейтралью / С.О. Озорнин // Энергетика и промышленность России. – 2006. – № 6(70). – С. 54, 55.
10. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / Шабад М.А. – СПб : Издательство ПЭИПК, 2003. – 350 с.
11. Батулько Д.В. Исследование датчиков тока ТДЗЛВ-10 и трансформаторов тока ТЗЛМ на помехоустойчивость при воздействии внешнего магнитного поля / Д.В. Батулько // Энергетик. – 2006. – № 6.
12. Комплектные электротехнические устройства : справочник : в 3 т. Т. 1. Часть 2. Комплектные распределительные устройства. – М. : Информэлектро, 1999. – 168 с.
13. Бойко С.М. Лабораторний комплекс для дослідження диференційного захисту силового трансформатора / С.М. Бойко, Д.А. Михайлинин, С.Я. Вишневський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 4. – С. 135–138.

Рецензія/Peer review : 7.1.2016 р. Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Сінчук

ОКРЕМІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ УЗГОДЖЕНИХ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ІМПУЛЬСНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ ВИПАДКОВІ МОДУЛЯЦІЙНІ СКЛАДОВІ

В статті досліджуються питання вибору алгоритму обробки імпульсних радіолокаційних сигналів, що одночасно модульовані по амплітуді і частоті випадковими, вузькосмуговими сигналами. Визначено загальний підхід та виведено розрахункові співвідношення для проведення порівняльної оцінки доцільності застосування узгодженого алгоритму до кожного з типу модуляційних складових, або їх сумісного використання із оптимізацією кореляційних властивостей за показниками виявлення чи розрізнення.

Ключові слова: модуляція, зонduючий сигнал, детектування, щільність, узгоджений фільтр.

I.I. CHESANOVSKYY

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

L.V. KARPOVA

Khmelnytsky National University

SOME ASPECTS OF CONSTRUCTION COHERENT PROCESSING ALGORITHMS PULSE RADAR SIGNALS CONTAINING COMPONENTS OF INCIDENTAL MODULATION

The article examines the question of choice of algorithm processing pulse radar signals simultaneously modulated in amplitude and frequency of random narrowband signals. The general approach and removed the calculated value for comparative evaluation of the usefulness of the agreed algorithm to each type of modulation components, or sharing with optimization of correlation properties in terms of detection or distinction.

Keywords: modulation, probing signal, detection, density, matched filter.

Розширення частотної смуги сигналів вирішило низку проблем в радіолокації, пов'язаних з підвищенням частотної та часової селективності, зниженням співвідношень пікових навантажень НВЧ тракту та дальності дії системи, тощо [2]. По суті, штучне розширення смуги частот зонduючих сигналів оптимізує процес виявлення та розрізнення сигналів за рахунок підвищення детермінізму процесів модуляції і демодуляції. При цьому, синтезовані сигнали та алгоритми їх аналізу стають «чутливими» до проявів випадковостей на будь-якому етапі формування чи обробки і саме баланс між енергією випадкових складових та чутливістю до них визначає фізичну реалізуємість даних підходів в реальних системах. Ефективною мірою цієї реалізуємість є функція невизначеності сигналу, центральна пелюстка якої визначає потенційні можливості сигналу, щодо його виявлення а бокові пелюстки – потенційні можливості, щодо його розрізнення. Як показують дослідження [2], не кожне розширення смуги частот, є ефективним, особливо якщо модуляція здійснюється за випадковим законом і складає певну комбінацію модуляційних складових (амплітуда – частота, амплітуда – фаза, тощо), що характерно імпульсним методам, де модуляція виникає в наслідок дії шкідливих чинників, проте в міру конструктивних особливостей станції, може бути використана при узгодженні приймача.

Метою даної статті, є обґрунтування можливих меж у співвідношеннях інтенсивностей різних видів модуляційних складових в імпульсному радіолокаційному сигналі, при яких досягається вииграш від узгодження приймача з ними.

Для більшості методів побудови радіолокаційних каналів, значне розширення смуги частот дає змогу долати вплив випадкових складових до потрібного рівня, з урахуванням, апаратних можливостей фізичної реалізації (ширина смуги частот тракту НВЧ, спрямованість антени, тощо). Звуження ж смуги частот в поєднанні з часовою кінцевістю сигналів, призводить до погіршення роздільної здатності за всіма основними показниками. Певного виграшу дає змогу досягти підхід, що базується на комбінованому застосуванні амплітудних та кутових видів модуляції, що в поєднанні дають змогу досягти виграшу у виявленні та розрізненні, хоча в цілому, при стандартних підходах, задачі підвищення роздільної здатності не вирішують, оскільки співвідношення вкладу кутової і амплітудної модуляції на порядки різні.

Ряд проведених в останній час досліджень показують, що при одночасному застосуванні амплітудної і кутової модуляції, за певних співвідношень їх глибини і форми модулюючих сигналів можна досягти екстремальних значень виграшу в роздільній здатності, що перевищують потенційні можливості в рази. Проте, область цих співвідношень значно обмежена і потребує чіткої оцінки для практичного застосування.

Одним із таких практичних випадків, є імпульсні радіолокаційні системи, побудовані на основі генераторів НВЧ магнетронного типу. Дані генератори характеризуються наявністю електронного зміщення частоти, що спричиняє амплітудно-частотну динаміку зонduючих сигналів [1]. Глибина цієї динаміки в зонduючому сигналі не дає змоги розглядати його як широкосмуговий, проте відкриває можливість, за

рахунок узгодженої обробки, отримати вигравш в ефективності прийому та обробки.

Припустимо, що прийомопередавач радіолокаційної системи певним чином модифікований і містить додаткову ланку – детектор амплітудної і кутової модуляції в система АПЧ (рис.1). При цьому, певним чином модифікований і приймач – він містить «виявляючий» узгоджений фільтр, передавальна характеристика якого може змінюватись в залежності від отриманих на етапі формування $u(t), \varphi(t)$ (рис. 2).

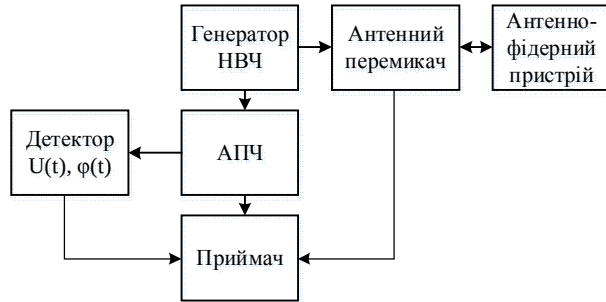


Рис. 1. Структурна схема модифікованої імпульсної РЛС
буде вносити лише «згладжуючий» ефект, підвищуючи частотну вибірковість, а можуть бути випадки коли «згладжуючий» ефект спостерігається від кутової модуляції з відповідним підвищенням часової вибірковості.

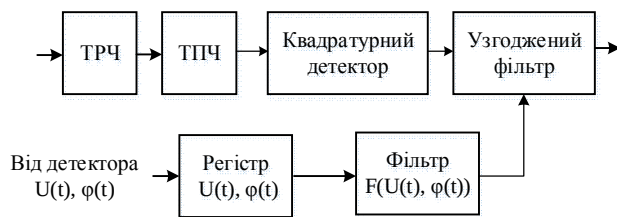


Рис. 2. Структурна схема удосконаленого приймача імпульсної РЛС

Для визначення меж виникнення цих ефектів і їх співвідношень розглянемо модель сигналу, що містить добуток двох функцій $u(t)$ і $e^{j\varphi(t)}$ кожна з яких змінюється незалежно одна від одної зі значеннями абсолютної динаміки в часі одного порядку $\frac{du(t)}{dt} \approx \frac{d\varphi(t)}{dt} \Big|_{t \in [0, \tau_i]}$. Відомо, що при застосуванні сигналів з кутовою модуляцією, основний внесок в спектр сигналу

вноситься саме $\varphi(t) = \int_0^t (\omega_0 + \Delta\omega\psi(x))dx$, а при застосуванні амплітудної модуляції, з огляду на те, що

$\varphi(t) = \varphi_0 = \text{const}$, основний внесок в спектр (точніше в ширину смуги частот сигналу) вносить $u(t)$, а незначна зміна $e^{j\varphi(t)}$ може мати певний згладжуючий характер. Виходячи з цього, модель імпульсного радіолокаційного сигналу має вигляд

$$U(t) = U_0 u(t) e^{j\varphi(t)} e^{j\omega t}, \quad (1)$$

або, з урахуванням того, що сигнал є вузькосмуговим і цікавим є аналіз лише модулюючих складових, що мають наближено однаковий порядок (спектри перекриваються), модель сигналу має вигляд

$$U(t) = u(t) e^{j\varphi(t)}. \quad (2)$$

Для випадку імпульсної радіолокації, буде доречним припустити, що амплітудна складова в найгіршому випадку, є постійною в межах імпульсу, а отже перша визначає ширину спектру (обернено тривалості імпульсу) відносно центральної частоти. При цьому, $\varphi(t)$ представляє собою квадратичну функцію βt^2 , що відповідає випадку лінійного спаду частоти внаслідок ефекту електронного зміщення. Виділимо поблизу моменту t кінцевий відрізок часу Δ такої величини, що функція $e^{j\varphi(t)}$ (або $\text{Re}\{e^{j\varphi(t)}\} = \cos(\varphi(t))$) змінюється за час Δ на кілька періодів. Тобто будемо вимагати, щоб повна варіація $\varphi(t)$ за час Δ була досить великою в порівнянні з 2π

$$\delta(\varphi(t)) = s \max[\cos \varphi(t + \varepsilon) - \cos \varphi(t)] = 2\pi n_1, \quad (2)$$

де n_1 – довільне число; $-\frac{\Delta}{2} < \varepsilon < \frac{\Delta}{2}$.

Виходячи із уявлень про розрахунок спектральної щільності слід врахувати, що для гармонійного заповнення внески від сусідніх півперіодів взаємно компенсують один одного, коли різниця площ для двох сусідніх півперіодів достатньо мала. Для виконання цієї умови потрібно, щоб відносна варіація функції $u(t)$ за час Δ була малою, тобто

$$\frac{\delta u(t)}{u(t)} = \frac{1}{n_2}, \quad u(t) \neq 0,$$

де n_2 – також довільне число. Із цих умов випливає вимога на величину параметра s , при якій взаємний вплив амплітудної і кутової складової практично виключається

$$s = 2\pi n_1 n_2 \frac{1}{u(t)} \frac{\delta u(t)}{\delta(\varphi(t))} = n_1 n_2 \frac{\delta u(t)}{u(t)} \frac{2\pi}{\delta(\varphi(t))}$$

або

$$s > \frac{\delta u(t)}{u(t)} \frac{2\pi}{\delta(\varphi(t))}. \quad (3)$$

Отриманий результат може бути трактований наступним чином: доцільність використання внутрішньої (амплітудної або кутової) модуляції для додаткового узгодження приймача радіолокаційної станції може бути виправдана лише у випадку виконання умови (3), тобто коли неправильний вибір способу детектування (амплітудне детектування при наявності ЧМ чи частотне детектування при наявності значної амплітудної динаміки) може призвести до значних втрат в потенційному виявленні або розрізненні. При цьому, якщо умова (3) виконується, то слід перевірити ще умову:

$$\frac{\delta(\varphi(t))}{2\pi} \frac{\delta u(t)}{u(t)} = \frac{n_1}{n_2} = \eta, \eta \gg 1, \eta \ll 1, \eta \approx 1. \quad (4)$$

Якщо $\eta \gg 1$, то це означає, що має місце значна кутова динаміка, тому основний алгоритм обробки сигналу повинен містити процедуру кутового (частотного чи фазового) детектування. Якщо $\eta \ll 1$, то детектування має здійснюватися амплітудним детектором, без урахування впливу кутових складових в комплексній обвідній сигналу. Якщо ж $\eta \approx 1$ і виконується умова (3) то необхідно застосовувати обидва алгоритми одночасно.

Розглянемо дану задачу з точки зору спектрального підходу, при якому спектри «модуючого сигналу» $u(t)$ і «несучого коливання» $e^{j\varphi(t)}$

$$G_u(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) e^{-j\omega t} dt, \quad G_\varphi(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j\varphi(t)} e^{-j(\omega - \omega_0)t} dt. \quad (5)$$

Припустимо, що функція $u(t)$ є такою, що повільно змінюється в тому випадку, якщо її спектр концентрується на значно нижчих частотах, ніж спектр другого співмножника. Спектр $G_u(\omega)$ характеризує поведінку $u(t)$ на всій осі часу $-\infty < t < +\infty$. При цьому, істотною є поведінка $u(t)$ в деякій околиці моменту t . Тому використаємо величину

$$G_u(\omega, t) = \int_{t-\Delta/2}^{t+\Delta/2} u(x) e^{-j\omega x} dx, \quad (6)$$

або, після введення в ядро інтегралу гладкої вагової функції часу

$$G_u(\omega, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-t)^2}{\Delta^2}} u(x) e^{-j\omega x} dx. \quad (7)$$

Якщо розглядати випадок коли кутова модуляція є «розширяючою» (забезпечує максимум в розрізненні) а амплітудна згладжуючою (максимум у виявленні), виберемо величину Δ , що охоплює порівняно малу (але кінцеву) околицю моменту t , в якій динаміка $u(t)$ є малою, а динаміка $\varphi(t)$ – великою.

При такій ваговій функції, миттєві спектри сигналів $u(t)$ і $e^{j\varphi(t)}$ мають вигляд

$$G_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(t-\tau)^2}{\Delta^2}} u(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(t-\tau)^2}{\Delta^2} - j\omega\tau + \ln u(\tau)} d\tau, \quad (8)$$

$$G_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(t-\tau)^2}{\Delta^2} - j\omega\tau + j\varphi(\tau)} d\tau. \quad (9)$$

Зробимо деякі спрощуючі припущення, а саме, припустимо, що в суттєвій області значень τ , близьких до t , функції $\varphi(\tau)$ і $\ln f(\tau)$ можна замінити першими членами відповідних рядів Тейлора

$$\varphi(\tau) \approx \varphi(t) + \varphi'(t)(\tau - t) + \frac{\varphi''(t)}{2}(\tau - t)^2, \ln f(\tau) \approx \ln f(t) + \frac{f'(t)}{f(t)}(\tau - t). \quad (10)$$

Для розрахунку спектрів застосуємо метод стаціонарної фази [3], відповідно якого, асимптотичне рішення інтегралів з визначеними параметрами $u(x)$ і $e^{\varphi(x)}$ (при $\frac{d\varphi(t)}{dt} \gg \frac{du(t)}{dt}$) має вигляд

$$G = \int_{-\infty}^{+\infty} u(x) e^{-\varphi(x)} dx \approx \sqrt{\frac{2\pi}{\varphi''(x_0)}} f(x_0) e^{-\varphi(x_0)}. \quad (11)$$

Таким чином,

$$G_1 \approx u(t) e^{-j\omega t} \frac{\sqrt{2\pi\Delta}}{\sqrt{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{u'(t)}{u(t)} \right)^2 \Delta^2}} e^{-\frac{\left(\omega - j \frac{u'(t)}{u(t)} \right)^2 \Delta^2}{4 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{u'(t)}{u(t)} \right)^2 \Delta^2 \right]}} \quad (12)$$

$$G_2 \approx e^{-j[\varphi(t) - \omega t]} \frac{\sqrt{2\pi\Delta}}{\sqrt{1 - j \frac{\varphi''(t)\Delta^2}{2}}} e^{-\frac{(\omega - \varphi'(t))\Delta^2}{4 \left[1 - j \frac{\varphi''(t)\Delta^2}{2} \right]}}. \quad (13)$$

Для даної задачі, суттєву роль відіграє розподіл енергії сигналів по частотах, тобто модулі цих виразів. Нормуючи останні по їх максимальних значеннях, неважко отримати

$$\left| \frac{G_1}{G_{1\max}} \right| = e^{-\frac{\omega^2}{(\delta\omega_1)^2}}, \quad \left| \frac{G_2}{G_{2\max}} \right| = e^{-\frac{(\omega - \varphi'(t))^2}{(\delta\omega_2)^2}},$$

$$\delta\omega_1 = \frac{2}{\Delta} \sqrt{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{u'(t)}{u(t)} \right)^2 \Delta^2}; \quad \delta\omega_2 = \frac{2}{\Delta} \sqrt{1 + \left(\frac{\varphi''(t)\Delta^2}{2} \right)^2}. \quad (14)$$

На рис. 3 показані миттєві спектри $G_1(\omega, t)$ і $G_2(\omega, t)$, що побудовані за отриманими формулами для певного значення Δ і моменту часу.

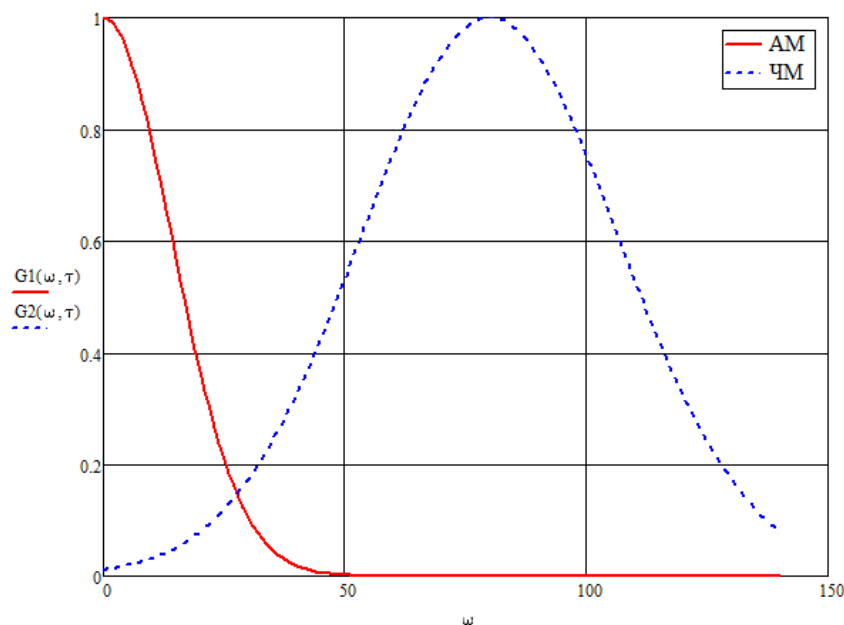


Рис. 3. Оцінка спектральної щільності амплітудної і кутової складової сигналу в точці стаціонарної фази

Якщо вважати, що функція $u(t)$ змінюється значно повільніше ніж $\varphi(t)$, то її спектр $G_1(\omega, t)$ розміщується на значно більш низьких частотах, ніж спектр $G_2(\omega, t)$. На рис. 3 видно, що чим більша величина $\varphi'(t)$ (для ЛЧМ – коефіцієнта ЛЧМ), тим більше зміщується спектр $G_2(\omega, t)$ в сторону високих частот і відповідно, тим сильніше виконується ця умова. Найбільш важко виконати умову поблизу стаціонарної точки t_0 , в якій $\varphi'(t) = 0$. В цьому випадку максимуми спектрів співпадають і умова повільності $u(t)$ приймає вигляд

$$\delta\omega_1 \ll \delta\omega_2$$

За допомогою (14) неважко показати, що еквівалентно системі нерівностей

$$\frac{u'(t_0)}{u(t_0)} \Delta \ll 1 \ll \varphi''(t_0) \Delta^2, \quad (15)$$

яку можна розглядати як уточнення вимог до множника, що повільно змінюється.

На рис. 4 та рис. 5 приведено характер залежності спектральної щільності G_1 і G_2 в різних перерізах ширини інтервалу аналізу в стаціонарній точці.

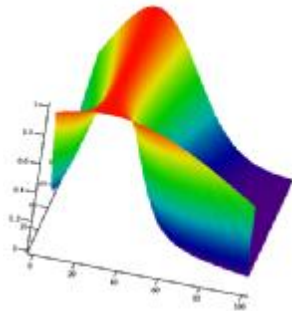


Рис. 4. Характер залежності спектральної щільності кутової складової від Δ

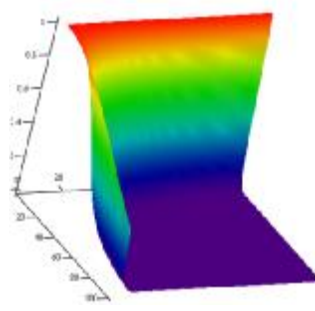


Рис. 5. Характер залежності спектральної щільності амплітудної складової від Δ

Як видно з приведених рисунків, розширення інтервалу аналізу призводить до значної зміни характеру розподілу спектральної щільності, при цьому, існує яскраво виражене значення цього інтервалу при якому спостерігається висока концентрація спектральної щільності відносно точки стаціонарної фази. В даний момент часу, практично відсутнє перекриття спектральних щільностей амплітудної і частотної складових, що свідчить про недоцільність їх одночасного використання (з вирішенням оптимізаційної задачі).

Таким чином, отримані співвідношення і побудовані на їх основі графіки дають змогу обґрунтувати доцільність застосування узгоджених алгоритмів при обробці сигналів, які одночасно містять декілька модуляційних складових випадкового характеру. При цьому встановлено теоретичну межу доцільності їх сумісного чи роздільного урахування. Так, при наявності «значного» перекриття спектральних щільностей амплітудної і частотної складових при фіксованій ширині інтервалу аналізу біля точки стаціонарної фази, визначеної за кутовою складовою, є сенс вирішувати оптимізаційну задачу, щодо побудови каналу узгодженого з обома складовими в певному співвідношенні їх інтенсивностей. В протилежному випадку, слід використовувати лише одну складову, в залежності від поставленої мети – виявлення чи розрізнення.

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. Вопросы перспективной радиолокации : коллективная монография / под редакцией А.В. Соколова. – М. : Радиотехника, 2003. – 512 с.
3. Вакман Д.Е. Асимптотические методы в линейной радиотехнике / Вакман Д.Е. – М. : Сов. Радио, 1962. – 247 с.

Рецензія/Peer review : 27.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНЕЙ

Проведено дослідження основних методів вимірювання дальності об'єктів в радіолокації. Встановлено, що основними методами є часові, частотні та фазові методи вимірювання. Наведено аналіз принципів отримання вимірювальної інформації, розрахункових виразів, за якими знаходиться дальність, похибки вимірювання. Часові методи є найбільш наочними, мають прості розрахункові вирази та технічну реалізацію. Але вони мають значну похибку вимірювання, яка визначається тривалістю зондувального сигналу. Частотні методи мають більшу точність, проте більш складну технічну реалізацію. Фазові методи мають високу точність, просту технічну реалізацію, хоча не дозволяють вимірювати дальності декількох об'єктів.

Ключові слова: часові методи, частотні методи, фазові методи, радіолокація.

V.R. LIUBCHYK, Y.V. SENCHYSHYNA

Khmelnitsky National University, Ukraine

I.V. TROTSYSHYN

Odessa National Academy of Telecommunications named after O.S. Popov, Ukraine

THE RESEARCH OF METHODS OF MEASURING DISTANCES

A study of the main methods of measuring the distance of objects in the radar. It was established that the main methods are time, frequency and phase measurement methods. The analysis of the principles of obtaining measurement data, calculated expressions which using for ranging, measurement error. Time methods is the most visual, have simple calculation expressions and technical implementation but they have considerable measurement error which is determined by the duration of probing signal. Frequency methods are more accurate. However, they have more complex technical implementation. Phase methods are highly accurate, simple technical implementation. However, they couldn't to measure the distance to a few objects.

Keywords: temporal methods, frequency methods, phase techniques, radar.

Вступ

В практиці дальнометрії об'єктів відомо багато різних підходів до побудови вимірювальних пристроїв та систем, а також методів їх функціонування. Усі вони використовують електромагнітне випромінювання або акустичні хвилі.

Під час зондування різноманітними сигналами вони поширюються з кінцевою швидкістю. Відбиття відбуваються від кожної границі двох середовищ із різними хвильовими опорами. При цьому частина сигналу проходить через границю цих матеріалів. Також при проходженні через середовище хвиля набуває згасання відповідно до фізичних властивостей середовища, у якому вона поширюється. Усі відбиті сигнали будуть проходити у зворотному напрямку до приймального сенсору, набуваючи згасання, відбиття у зворотному напрямку, заломлення. Даний процес поширення, поглинання, відбиття і заломлення хвилі відбувається доти, доки енергія сигналу не буде розсіяна у середовищі та енергія сигналу, відбитого від деякої границі середовищ, яка повернеться до приймача, не буде менше порогу чутливості приймача.

Основна частина. Для дистанційного зондування об'єктів різноманітними методами використовуються різні зондувальні відео- та радіосигнали, зміну параметрів яких при зондуванні використовують для отримання вимірювальної інформації. Такими параметрами є часова затримка імпульсу, часова затримка зміни частоти, зміна амплітуди, зміна фазової характеристики і т. д.

Залежно від того, які вимірювальні сигнали застосовують і які параметри сигналів є інформативними, можна виділити різні основні методи радіолокаційного зондування, в тому числі і ті, які використовуються для зондування об'єктів. Такими методами є:

- імпульсні методи із визначенням часової затримки сигналу [1, 2, 3];
- імпульсні методи із використанням надширококузових сигналів (НШС-сигналів) [4, 5];
- імпульсні методи зі ступеневою зміною носійної частоти [6];
- частотні методи із неперервною зміною частоти (ЛЧМ-сигнали) [7, 8];
- частотні методи із дискретною зміною частоти (Step-by-step) [9];
- фазові методи [7, 8];
- методи із використанням складних сигналів [10].

Серед усіх методів радіолокаційного дослідження імпульсні методи із визначенням часової затримки є найбільш простими [7]. Серед переваг даних методів є наочність та простота визначення дальності. Суть методу полягає у визначенні часової затримки імпульсної зондувальної послідовності, яка є пропорційною подвоєній дальності об'єкту. Для зондування застосовують імпульсні сигнали тривалістю t та періодом повторення T_n . Враховуючи різну швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль в різних середовищах v_x та час затримки сигналу відбитого від i -го об'єкту t_i , дальність до об'єктів визначається із виразу:

$$D_i = \frac{v_x t_i}{2}. \quad (1)$$

Під час проходження прямокутних імпульсів колами передавача, середовищем, колами приймача, їх форма спотворюється і стає відмінною від прямокутної. Це пояснюється змінною їх частотного спектру відповідно до частотних характеристик електронних кіл та середовища, а також частотною дисперсією середовища. Внаслідок цього форма імпульсів з прямокутної перетворюється на форму близьку до гаусівського імпульсу. В такому разі важко визначити початок імпульсу та його тривалість. Отже, розрізнення імпульсів, що прийшли від різних об'єктів або границь шарів можливе, якщо можливе розрізнення мінімальної затримки по часу $\Delta t_{\min}$. Відомо, що для радіоімпульсів однакової амплітуди, розрізнення за дальністю визначається тривалістю радіоімпульсу $t_{0.5}$ на рівні 0.5 від максимальної амплітуди, тобто $\Delta t_{\min} = t_{0.5}$, звідки:

$$D_{\min} = \frac{v_x t_{0.5}}{2}. \quad (2)$$

Миттєва відносна похибка визначення дальності об'єктів в загальному може бути знайдена із виразу:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta v_x}{v_x} + \frac{\Delta t_R}{t_R}, \quad (3)$$

де Δt_R – абсолютна похибка знаходження часової затримки;

Δv_x – абсолютна похибка визначення швидкості розповсюдження електромагнітної хвилі у середовищі.

Припускаючи випадковий характер невідомих ΔR та Δt_R , а також їх незалежність, знаходять відносну точність визначення дальності [7]:

$$\frac{s_R}{R} = \sqrt{\left(\frac{s_{v_x}}{v_x}\right)^2 + \left(\frac{s_{t_R}}{t_R}\right)^2}. \quad (4)$$

Дисперсія $s_{v_x}^2$ обумовлена точністю, з якою відома швидкість розповсюдження радіохвилі та її непостійність впродовж траси. Для вакууму швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі $c = 299792458 \pm s_c$ м/с, а $s_c/c = 10^{-9}$. В атмосфері $s_{v_{\text{атм}}}/v_{\text{атм}} = 10^{-4} \text{ К} 10^{-6}$. Для підповерхневих середовищ значення s_{v_x}/v_x приймає ще менші значення, тому як маловідомими є значення діелектричної проникності, частотної дисперсії, вологості та інших фізичних параметрів в різних середовищах.

Таким чином, навіть за відсутності методичної і апаратної похибок, визначення часової затримки ($s_{t_R} = 0$), гранична точність вимірювання дальності залежить від того, наскільки точно на даний момент відомо v_x і можливості врахування s_{v_x} [7]. При георадарних дослідженнях це особливо складно, адже апріорно невідомі ні матеріал підповерхневих шарів, ні їх вологість, яка впливає на значення v_x . Тому дуже важко або неможливо досягнути необхідних показників точності. Хоча на розрізнення факт неточного задавання V_x не впливає, тому як в даному випадку враховується лише розрізнення відбитих сигналів.

Основними складовими похибки вимірювання глибин об'єктів та товщин шарів при підповерхневому зондуванні є похибки за рахунок зміни умов розповсюдження $s_{\text{розн}} \approx s_{v_x}$, флуктуаційна похибка $s_{\text{фл}} \approx s_{t_R}$ і апаратні похибки $s_{\text{ап}} \approx s_{2t_R}$. Також необхідно враховувати методичну похибку вимірювання часової затримки сигналу [11].

При цифровому вимірюванні часової затримки імпульсного сигналу наявна похибка дискретизації $\Delta R = 0.5 v_x T_{\text{ліч}}$, яка залежить від періоду слідування лічильних імпульсів $T_{\text{ліч}}$. З іншого боку, відомо, що мінімально можлива дисперсія оцінки параметру s_t^2 при радіолокаційному вимірюванні, визначається властивостями кореляційної функції $K(t)$ і відношенням енергії сигналу E до спектральної щільності шуму N_0 [11]:

$$s_t = \left[\left(\frac{2E}{N_0} \right) \left(-\frac{d^2 K(t)}{dt^2} \right)_{t=0} \right]^{-1}. \quad (5)$$

З даного виразу видно, що при збільшенні співвідношення сигнал/шум точність вимірювання часових інтервалів підвищується. Для реалізації даної вимоги потрібно підвищувати енергію зондувального сигналу, що в свою чергу призводить до необхідності збільшувати амплітуду імпульсу, що не завжди є

можливим.

При цьому, чим вище частота модулюючого сигналу, тим вище точність та розрізняльна спроможність вимірювання дальності. З іншого боку, проникність сигналу в матеріалах на високих частотах нижче ніж на низьких. Таким чином при розробці георадарів із використанням імпульсних радіосигналів необхідно враховувати різні глибини проникнення сигналів на різних частотах. Це є визначальним при обмеженні сфери застосування георадара. Неважко помітити, що застосування імпульсних радіосигналів викликає протиріччя між точністю вимірювання із забезпеченням розрізняльної спроможності та глибиною зондування підповерхневих об'єктів. Отже, необхідно знижувати частоту модулюючого коливання для забезпечення більшої глибини зондування з одного боку, та збільшувати частоту носійного коливання для підвищення точності та розрізняльної спроможності.

Для підвищення точності та роздільної здатності останні десятиліття застосовують надширокопasmові (НШС) зондувальні сигнали. Особливістю таких сигналів є значний частотний діапазон, який займає спектр частот таких сигналів. Як правило, спектр частот НШС сигналів займає смугу частот від декількох сотень мегагерц до декількох гігагерц. Такий широкий діапазон частот, присутніх в спектрі сигналу, дозволяє отримати інформацію про об'єкти у трьох частотних діапазонах. По-перше, коли довжини хвиль, зондувальних сигналів більше за розміри об'єктів (релеєвський діапазон частот). По-друге, коли довжини хвиль співрозмірні з розмірами об'єктів (резонансний діапазон частот). По-третє, коли довжини хвиль менші за розміри об'єктів (високочастотний діапазон частот) [4].

Одним із основних параметрів для опису НШС сигналів є поняття широкопasmовості:

$$m = \frac{\Delta f}{f_0} = 2 \frac{f_b - f_n}{f_b + f_n}, \quad (6)$$

де $\Delta f = f_b - f_n$ – ширина спектру частот сигналу; $f_0 = f_b + f_n$ – центральна частота сигналу; f_b – верхня частота; f_n – нижня частота.

У НШС сигналів $m \approx 1$ [4]. Отже, виходячи із умови глибини проникності зондувальних сигналів, значення центральної частоти обирають в межах від 100 до 500 МГц. Тоді смуга частот має значення від 200 до 1000 МГц. Зондувальні НШС сигнали, що застосовуються для підповерхневого зондування можуть бути одноперіодними, двоперіодними або аперіодичними (відеоімпульсними) [11]. З точки зору роздільної здатності, точності та частотного діапазону, найкращими є аперіодичні зондувальні НШС сигнали. Ще однією позитивною відмінністю даних сигналів є простота їх технічної реалізації у порівнянні з формуванням одно або двоперіодних сигналів.

Розглядаючи системи із використанням НШС сигналів, неважно помітити, що вони висувають особливі вимоги до випромінюючої та приймаючої апаратури. Вимагається розробка та виготовлення специфічних НВЧ пристроїв формування таких сигналів. Складною є також задача реєстрації та обробки таких сигналів. Принциповим є використання високошвидкісних обчислювальних пристроїв, які дозволили б проводити математичну обробку сигналів у часовій та спектральній областях [4, 5].

У НШС радарів внаслідок неузгодженості спектрів сигналу та частотних характеристик антен та інших причин, наявні додаткові енергетичні втрати, яких немає у вузькопasmових радарів [12].

Виходячи із вищенаведеного, можна зробити наступні висновки. Використання НШС сигналів для розробки підповерхневих радарів дозволяє значно підвищити точність та роздільну здатність. З іншого боку, для побудови таких радарів потрібно розв'язувати ряд складних наукових та технічних задач. А саме, вирішити питання випромінювання та прийому НШС сигналів при мінімальному спотворенні форми сигналу, математичної обробки сигналів відбитих від об'єктів та їх елементів, врахування різних частотних характеристик середовища та об'єктів. Для подолання більших енергетичних втрат, потрібно випромінювати сигнали більшої потужності ніж при використанні вузькопasmових радарів. Необхідно також враховувати те, що у підповерхневих середовищах згасання має залежність від частоти та матеріалу середовища. Це призводить до необхідності зниження центральної частоти НШС сигналу. В такому разі точність вимірювання глибин та роздільна здатність суттєво погіршуються, що вимагає пошуку інших методів знаходження глибин розташування об'єктів та їх характеристик.

Потенційна точність вимірювання параметру при використанні НШС сигналів практично визначається його середньою «носіною» частотою f_0 [13].

Роздільна здатність вимірювання, при застосуванні періодичних сигналів, визначається як число розрізнявальних інтервалів, які вкладаються в діапазон однозначного вимірювання [14]:

$$Q = \frac{T_n}{\Delta t} = B - 1, \quad (7)$$

де B – шпаруватість функції кореляції або власне сигналу. Оскільки відстані між спектральними лініями періодичного сигналу $F_n = \frac{1}{T_n}$, то загальне число точок відліку спектру радіосигналу при

довільній широкопasmовості $n_i = \frac{\Delta f}{F_n} + 1 = \frac{2T_n}{\Delta t} + 1 = 2Q + 1$, де для радіосигналу $\Delta f = \frac{2}{\Delta t}$.

Таким чином, інформативні властивості сигналу, що вкладаються у розрізняльну спроможність, виражаються числом спектральних ліній в складі його спектру. Наприклад, для розрізнення двох цілей

($Q = 2$) за допомогою радіосигналу, необхідно мінімум п'ять спектральних ліній.

Частотні методи вимірювання дальності об'єктів ґрунтуються на використанні неперервного сигналу з частотною модуляцією за симетричним або несиметричним законом. При лінійному законі ЧМ (рис. 1) через запізнення відбитого сигналу на час t_R , миттєва різниця частоти сигналів випроміненого f_1 і прийнятого f_2 дорівнює $F_0 = f_1(t) - f_2(t) = \left(\frac{\partial f(t)}{\partial t} \right) t_R$. Тому як, що передавач і приймач мають обмежені діапазони частот, на практиці застосовують періодичні закони модуляції ЧМ [7, 12].

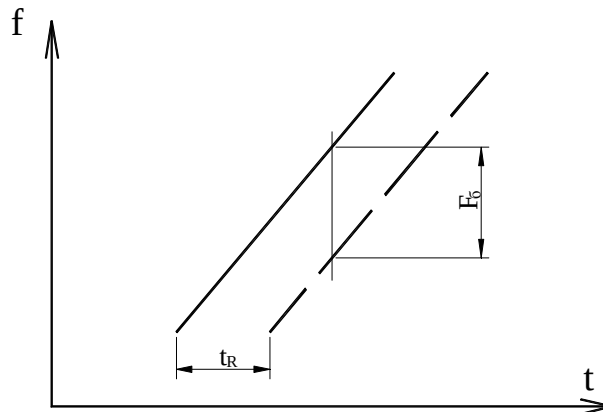


Рис. 1. Принцип частотного методу вимірювання дальності

Основне рівняння частотного радіолокатора має вигляд [12]:

$$R = \frac{v_x \cdot F_0}{4\Delta f \cdot F_M} \quad (8)$$

Частоту модуляції F_M вибирають із умови однозначного відліку дальності в межах заданої дистанції цілі $R_{\max}$. При періодичних законах модуляції повинно виконуватись співвідношення:

$$F_M \leq \frac{v_x}{4R_{\max}} \quad (9)$$

Особливістю частотних радіолокаторів є дискретний характер залежності вимірюваної дальності R_v від фактичної R_f . Тому як спектр сигналу биттів складається з частотних компонент кратних частоті модуляції. Найменша частота биттів $F_{0\min} = F_M$, то мінімальна дальність, яку можна виміряти [12]:

$$R_{\min} = \frac{v_x}{4\Delta f} \quad (10)$$

Зі зростанням R в спектрі сигналу биттів послідовно з'являються частоти $2F_M$, $3F_M$ і т. д., тому частота биттів змінюється на F_M , а дальність на $\Delta R = R_{\min}$. Отже, для підвищення точності вимірювання дальності необхідно збільшувати девіацію частоти Δf .

За необхідності розрізняти об'єкти та вимірювати дальності багатьох об'єктів необхідно проводити вимірювання спектральних частот биттів присутніх в сумарному сигналі. В цьому випадку використовують спектроаналізатор. За наявності багатьох об'єктів на вході змішувача присутні сигнали биттів від усіх об'єктів і сигнали биттів на комбінаційних частотах [12]:

Для розділення кожної частоти застосовують методи спектрального аналізу. У випадку аналогового спектрального аналізу, розділення за частотою визначається смугою пропускання фільтра. Але на даний час широкого застосування набули методи цифрового спектрального аналізу. В такому разі розрізнення за частотою буде визначатись рядом факторів: частотою дискретизації, розрядністю аналого-цифрового перетворювача, похибками дискретизації та квантування, методом цифрового спектрального аналізу тощо.

Точність вимірювання дальності частотним методом можна знайти за виразом [7]:

$$s_R = \sqrt{F_0^2 s_M^2 + M_F^2 s_F^2} \quad (11)$$

де $M_F = \frac{v_x}{4\Delta f \cdot F_M}$ – масштабний коефіцієнт. В частотних далекомірах значення M_F задають постійним шляхом стабілізації F_M та Δf . Тоді $s_R = M_F \cdot s_F$.

Враховуючи похибку вимірювання частоти, похибка вимірювання дальності:

$$S_R = \frac{V_x}{8p\Delta f \cdot F_M \cdot t_{ck} \cdot \sqrt{q}}, \quad (12)$$

де $t_{ck} = \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} t^2 |U(t)|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} |U(t)|^2 dt}}$ – середньоквадратична тривалість сигналу; $q = \frac{E}{N_0}$ – співвідношення сигнал/шум.

Також на точність частотної далекометрії впливає дискретність відліку $\Delta R = R_{\min}$ [7].

Отже, частотний метод дозволяє вимірювати дальність до багатьох об'єктів, але при цьому для підвищення точності вимірювання необхідно значно розширювати частотний діапазон сигналу, тобто збільшувати девіацію частоти.

Застосування імпульсних та частотних методів дозволяє достатньо просто розділяти сигнали відбиті від підповерхневих об'єктів, а також вимірювати глибини їх залягання. Проте, при визначенні характеристик об'єктів виникають складнощі, тому що амплітудні параметри сигналів відбитих від цих об'єктів не дозволяють з достатньою точністю визначати їх електрофізичні властивості. Зміна фазових характеристик зондувальних частото-модульованих сигналів несе більше інформації про електрофізичні властивості підповерхневих об'єктів.

Фазовий метод далекометрії дозволяє вимірювати дальність на носійній частоті ω_0 [7]. Зондувальним сигналом є неперервне гармонійне коливання, яке має вигляд:

$$s_1(t) = U_{m1} \cos j_1 = U_{m1} \cos(\Omega_m t + j_{01}), \quad (13)$$

де Ω_m – кутова частота сигналу масштабної частоти, в найпростішому випадку $\Omega_m = \omega_0$.

Відбитий сигнали має вигляд:

$$s_2(t) = U_{m2} \cos j_2 = U_{m2} \cos(\Omega_m(t - t_R) + j_{01} + j_{an} + j_{відб}), \quad (14)$$

де U_{m1} , U_{m2} – амплітуди сигналів; j_1 , j_2 – миттєві фази сигналів; j_{01} – початкова фаза; j_{an} – зсув фази в апаратурі радіодалекоміра; $j_{відб}$ – зсув фази при відбитті сигналу від об'єкту.

За допомогою фазометра визначають різницю фаз j_{Δ} опорного (зондувального) і відбитого сигналів (рис. 2):

$$R = \frac{c(j_{\Delta} + j_{an} + j_{відб})}{2\Omega_m}. \quad (15)$$

Фазовий зсув j_{an} можна виключити шляхом калібрування, вимірюючи фазовий зсув прямого проходження сигналу через тракти передавача і приймача. Зміни фази при відбитті сигналу $j_{відб}$ сильно впливають на точність, так як при відбитті від металів і діелектриків $j_{відб}$ змінюється на 180° . Тому зазвичай обирають $\Omega_m < \omega_0$ і працюють в режимі модуляції сигналу радіочастоти. В такому разі, величиною $j_{відб}$ можна знехтувати і рівняння вимірювання приймає вигляд [7]:

$$R = \frac{c}{2\Omega_m} j_{\Delta} = M_j j_{\Delta}, \quad (16)$$

де $M_j = \frac{c}{2\Omega_m} = \frac{l}{4p}$ – масштабний коефіцієнт ($l = \frac{c}{F_m}$).

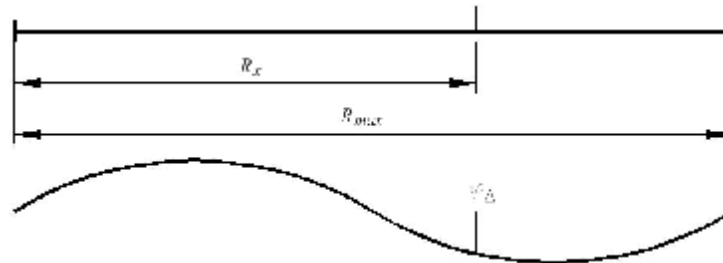


Рис. 2. Фазовий метод вимірювання дальності

При проведенні вимірювань дальності декількох об'єктів фазовим методом виникає явище накладання сигналів відбитих від кожного об'єкту. Внаслідок цього, отримуємо один сумарний сигнал $\bar{a}_{\Sigma}$, який представляє собою вектору суму сигналів $\bar{a}_i$ відбитих від кожного об'єкту:

$$\bar{a}_{\Sigma} = \bar{a}_1 + \bar{a}_2 + \mathbf{K} \bar{a}_n. \quad (17)$$

При цьому фазовий зсув сумарного сигналу можна знайти за виразом:

$$j_{\Sigma} = \arctg \frac{\sum_{i=1}^n U_{m2i} \sin j_{2i}}{\sum_{i=1}^n U_{m2i} \cos j_{2i}}. \quad (18)$$

Як видно з виразу (18) фазовий зсув сумарного сигналу залежить від багатьох параметрів. В загальному випадку їх $2N$ і їх кількість дорівнює сумі кількості амплітуд та фазових зсувів сигналів, відбитих від кожного об'єкту. Амплітуда сумарного сигналу знаходиться за виразом (рис. 3):

$$a_{\Sigma} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n U_{m2i} \sin j_{2i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n U_{m2i} \cos j_{2i}\right)^2}. \quad (19)$$

Отже, отриманий сумарний сигнал є результатом спільної дії усіх сигналів, відбитих від кожного об'єкту. За результатами вимірювання фазового зсуву та амплітуди сумарного сигналу не представляється можливим знайти фазові зсуви та амплітуди сигналів відбитих від кожного об'єкту. Таким чином, фазовий метод вимірювання дальності використовується лише для знаходження дальності до одного об'єкта і, відповідно, застосування його для розв'язку задач георозвідки є обмеженим.

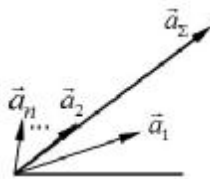


Рис. 3. Отримання сумарного сигналу при зондуванні багатьох об'єктів

Навіть під час вимірювання дальності до одного об'єкту можливе виникнення ще одного явища, а саме просочування на вхід приймача зондувального сигналу U_{zc} , який складається векторно із сигналом, відбитим від об'єкту U_{m2} . В результаті утворюється сумарний сигнал, фазовий зсув та амплітуду якого можна розрахувати за виразами (18) та (19) при $N = 2$. Просочування відбувається по бічних пелюстках діаграми спрямованості антени (ДСА). Тому як $U_{zc} \gg U_{m2}$, то $j_{\Sigma} \rightarrow j_{zc}$, який не несе інформацію про дальність. Для зменшення впливу просочування сигналу, застосовують просторове рознесення передавальної та приймальної антен.

Ще однією особливістю фазової далекометрії є можливість багатозначного відліку дальності, коли одному вимірюваному значенню j_{Δ} відповідає декілька значень дальності R , які відрізняються, як слідує з (16) на $kl_m/2$, де $k = 1, 2, \dots, K$. Причина багатозначності полягає в тому, що через циклічність фази вимірювач фази видає один і той же результат j_{Δ} при $j_{\Delta} + 2pk$. Для запобігання цьому явищу необхідне виконання умови однозначності відліку фази $j_{\Delta} = \Omega_m t_{R\max} \leq 2p$. Звідси – умова для вибору масштабної частоти [7]:

$$F_m \leq \frac{c}{2R_{\max}}. \quad (20)$$

Точність вимірювання дальності фазовим методом має залежність:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta M_j}{M_j} + \frac{\Delta j_{\Delta}}{j_{\Delta}}, \quad (21)$$

враховуючи незалежність ΔM_j і Δj_{Δ} :

$$s_R = \sqrt{j_{\Delta}^2 s_M^2 + M_j^2 s_j^2}, \quad (22)$$

де s_M^2 і s_j^2 – дисперсії зміни масштабного коефіцієнту і зміни фази відповідно.

Складова s_M усувається при постійності масштабного коефіцієнту, що досягається стабілізацією масштабної частоти, при якій $\Omega_m = \text{const}$ на інтервалі вимірювання t_R . Тоді $s_R = M_j s_j$, звідки випливає, що для підвищення точності радіодалекоміра необхідно зменшувати M_j , тобто збільшувати масштабну частоту Ω_m .

Таким чином, в фазовому радіодалекомірі існують суперечливі вимоги до вибору масштабної частоти: збільшення Ω_m сприяє підвищенню точності, але призводить до неоднозначності вимірювання дальності. Для різних вимірювачів фазових зсувів величину s_j можна представити у вигляді:

$$s_j = \frac{K_{\text{но}}}{\sqrt{2q}}. \quad (23)$$

де $K_{\text{но}} > 1$ – коефіцієнт втрат при неоптимальній обробці, залежить від виду вимірювача фазових зсувів;

$q = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}}$ – співвідношення сигнал/шум за потужністю на вході вимірювача фазового зсуву.

Якщо $K_{\text{но}} = 1$, то співвідношення $\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right) = 2\left(\frac{P_{\text{свх}}}{P_{\text{швх}}}\right) = 2q_{\text{свх}}$, і точність фазового радіодалекоміра характеризується похибкою:

$$s_R = \frac{l_m}{4p\sqrt{2q}}. \quad (24)$$

Вирішення протиріччя, яке виникає за необхідності розширення діапазону вимірювання дальності та підвищення точності вимірювання розв'язується шляхом застосування багатошкальних вимірювань. Застосування цього методу забезпечує високу точність, притаманну фазовим вимірюванням з малим періодом при діапазоні однотипного відліку, що визначається періодичністю грубої шкали.

Багатошкальні методи в основному застосовують в радіолокації, радіонавігації, геодезії. Багатошкальний метод полягає в тому, що з його допомогою додаткового вимірювання на грубішій шкалі, що відповідає нижчій частоті тестового сигналу w_n , визначають число цілих циклів зміни фазового зсуву n . Значення w_n повинно забезпечувати однозначний результат вимірювання, тобто задовольняти умові $j_n = w_n t_n < 2p$, де t_n – час затримки сигналу з частотою w_n ; j_n – фазовий зсув в межах сигналу з частотою w_n . Потім визначають результат вимірювання за виразом:

$$t_\phi = \frac{(n + j_\phi / 2p)}{f_\phi}. \quad (25)$$

де j_ϕ – вимірюване значення фазового зсуву $0 \leq j_\phi \leq 2p$ на заданій частоті f_ϕ . Число n краще знайти з умови:

$$n = \left[\frac{j_n w_n}{2p w_n} \right]^+, \quad (26)$$

де $[Y]^+$ – ціла частина числа Y . Ілюстрацію багатошкального фазового методу вимірювання дальності наведено на рис.4.

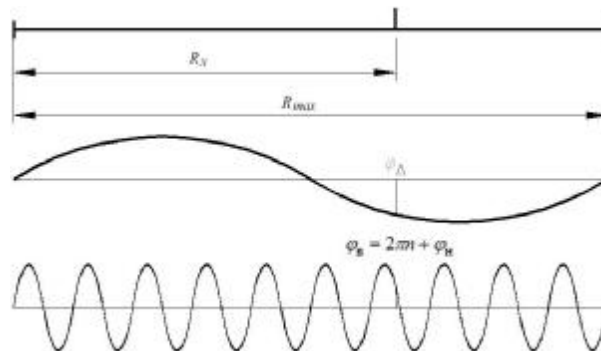


Рис. 4. Багатошкальний фазовий метод вимірювання дальності

Проте у випадках, коли вимірюване значення параметра лежить поблизу межі, що розділяє два сусідні інтервали однозначності, значень, що набувають t_ϕ із-за кінцевості значень похибки Δj_ϕ і Δj_n вимірювання величин j_ϕ і j_n , а також із-за кінцевої дисперсії вимірюваного параметра на різних шкалах можуть опинитися по різні сторони цієї межі. В результаті невірного визначення межі фазового циклу отримуються різні значення часового зсуву:

$d_\phi = t_\phi + \Delta t$ – оцінка вимірюваного значення t_ϕ за точною шкалою при правильному визначенні числа n ;

$d_\phi = t_\phi + \Delta t + d(n)$ – оцінка вимірюваного значення t_ϕ при невірному визначенні n ;

$d_\phi = j_\phi + \Delta j_\phi - \left[\frac{j_\phi + \Delta j_\phi}{2p} \right]^+ + 2p$, отримане значення фазового зсуву $0 \leq j \leq 2p$ за точною шкалою;

$\Delta j_{ue}, \Delta j_{un}$ – дійсні значення похибки вимірювання значень фазового зсуву відповідно j_e, j_n ;

$d(n)$ – значення похибки за рахунок появи неоднозначності;

Δt_n – похибка вимірювання за грубою шкалою.

При визначенні t згідно з виразом (1.47) отримують результат вимірювання t_ϕ у вигляді:

$$d_\phi = \left(\left[\frac{d_n w_e}{2p w_n} \right] + \frac{d_e}{2p} \right) \frac{1}{f_e}, \quad (27)$$

який має похибку, близьку до $T = \frac{1}{f_e}$.

Ймовірність появи неоднозначності при такому алгоритмі залежить від значення вимірюваної величини і різко зростає по краях діапазону однозначного вимірювання величини t .

Висновки Провівши порівняльний аналіз різних методів вимірювання дальності, можна зробити наступні висновки. Залежно від задачі, що вирішується, використовуються різні методи вимірювання відстаней. Часові методи є найбільш наочними, мають прості розрахункові вирази та технічну реалізацію. Але вони мають значну похибку вимірювання яка визначається тривалістю зондувального сигналу. Частотні методи мають більшу точність. Проте мають більш складну технічну реалізацію. Фазові методи мають високу точність, просту технічну реалізацію. Але не дозволяють вимірювати дальності декількох об'єктів. Тому подолання встановленого протиріччя між високою точністю та відсутністю роздільної здатності фазових методів дозволить підвищити точність дальнометрії разом із застосуванням сигналів в обмеженому частотному діапазоні.

Література

1. Подповерхностная радиолокация / [М.И. Филькенштейн, В.И. Карпукhin, В.А. Кутев, В.Н. Метелкин]. – М. : Радио и связь, 1994. – 216 с.
2. Вопросы подповерхностной радиолокации : коллективная монография / под ред. А.Ю. Гринева. – М. : Радиотехника, 2005. – 416 с.
3. Радиолокационные и радионавигационные системы : [учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов] / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский. – М. : Радио и связь, 1994. – 296 с.
4. Панько С.П. Сверхширокополосная радиолокация / С.П. Панько // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – № 1. – С. 106–114.
5. Taylor J.D. Ultrawideband radar: application and design; ed. by J.D. Taylor. Boca Raton; London; New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. 520 p.
6. Weedon W.H., Chew W.C., Mayes P.E. A Step-frequency radar imaging system for microwave nondestructive evaluation. Progress In Electromagnetics Research, 2000, pp. 121–146.
7. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации : учеб. пособие для вузов / Сосулин Ю.Г. – М. : Радио и связь, 1992. – 304 с.
8. Теоретические основы радиолокации / под ред. Ширмана Я.Д. – М. : Сов. радио, 1970. – 560 с.
9. Weedon W.H. A step-frequency radar imaging system for microwave nondestructive evaluation. Progress In Electromagnetics Research, PIER 28, 2000, pp. 121–146.
10. Безответных В.В. Оценка эффективной скорости распространения низкочастотных фазоманипулированных сигналов на протяженных трассах при сложных гидролого-акустических условиях и переменном рельефе дна / В.В. Безответных, А.В. Буренин, Е.А. Войтенко, Ю.Н. Моргунов // Подводные исследования и роботехника. – 2008. – 2(6). – С. 59–63.
11. Костылев А.А. Обработка сигналов при экспериментальном исследовании рассеяния коротких радиоимпульсов на проводящей сфере / А.А. Костылев // Радиотехника. – 1984. – № 8. – С. 64–66.
12. Теоретические основы радиолокации / под ред. Ширмана Я.Д. – М. : Сов. радио, 1970. – 560 с.
13. Бартен Д. Справочник по радиолокационным измерениям / Д. Бартен, Г. Вард ; под ред. М.М. Вейсберна ; [пер. с англ.]. – М. : Советское радио, 1976. – 392 с.
14. Immoreev I. Ultrawideband (UWB) Radar Observation: Signal Generation, Radiation and Processing. European Conference on Synthetic Aperture Radar, Konigswinter, Germany, 26–28 March, 1996, pp. 193–196.

Рецензія/Peer review : 8.1.2016 р. Надрукована/Printed : 16.2.2016 р.

Рецензент: прорецензовано редколлегією

БАГАТОСИМВОЛЬНЕ ДЕКОДУВАННЯ КВАДРАТУРНИХ ТИПІВ СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛОКАЛЬНО-БАЗИСНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Розглянуто принцип роботи квадратурних методів модуляції та їх детектування на основі класичних, посимвольних детекторів. Запропоновано альтернативну методику багатосимвольного детектування, що базується на основі широкозастосовного вейвлет перетворення. Висвітлено особливості роботи модифікованого детектора. Та на його основі показано переваги порівняно із класичним детектором. Запропоновано ідеї для подальшої оптимізації методики.

Ключові слова: квадратурна модуляція, локально-базисне перетворення, дискретне вейвлет перетворення, багатосимвольна обробка, детектування.

D. O. LEVCHUNETS
Khmelnytsky National University

MULTI-CHARACTER DECODING OF QUADRATURE SIGNALS USING LOCALLY-BASE TRANSFORMATION

The principle of quadrature modulation and detection methods based on the classic character-detectors are considered in the article. Together with that, the method of multi-character detection based on wavelet transform is proposed. The specific features of the modified detector are shown and compared with classical one. Some ideas to further method optimizing are given.

Keywords: quadrature modulation, locally-basis transform, discrete wavelet transform, multi-character processing, detection task.

Перехід сучасного обладнання обробки інформації на цифрову форму дозволив застосовувати у реальному часі складні обчислювальні алгоритми та типи модуляції. Їх реалізація була обмежена за рахунок впливу шумів на аналогові пристрої. Широко застосовні квадратурні методи модуляції є прикладом таких, цифрових систем. Знайшовши використання у радіолокаційних (система свій-чужий, наземні РЛС), радіонавігаційних та системах передачі інформації (телевізійні, транкінгові).

Особливою рисою квадратурних методів модуляції є їх вузькосмуговість. Що дозволяє ефективно використовувати канал зв'язку, та радіоефір зокрема. Разом із тим, використання вузької смуги частот потребує врахування низки особливостей передачі даних у цифровому вигляді. До них відносять міжсимвольну інтерференцію, часо-частотну локалізацію інформаційних символів, розташування точок сузір'я, інше. Для їх подолання вдаються до вагової обробки, пониження частоти дискретизації та інших методів обробки сигналів. В сукупності, це дозволяє наблизитись до теоретичної границі звуження смуги частот сигналу [2, 3].

Разом із тим, відмінною рисою переважної більшості існуючих детекторів квадратурних сигналів є почергове розпізнавання кожного символу. Що залишає невикористаним аналіз переходів між ними. Та, як наслідок, можливість підвищити завадостійкість / ймовірність правильного виявлення сигналу. Оскільки локально-базисні перетворення дозволяють підвищити інформативність аналізу в часовому та частотному базисах, це дозволить використати вказану особливість.

Постановка задачі

Незмінно актуальними є завдання покращення завадостійкості радіотехнічних систем. Для чого використовуються декілька основних напрямків. До них відносять:

- оптимізація характеристик сигналу що передається;
- збільшення інформативності сигналу при декодуванні.

Ціль даної роботи полягає у використанні другого підходу для вирішення вище зазначеного завдання. А саме у використанні більш інформативного перетворення, порівняно із класичним Фур'є. До них відносять низку локально-базисних перетворень:

- віконне перетворення Фур'є;
- вейвлет перетворення;
- перетворення Проні,
- інші...

У даній роботі, у якості прикладу, використано вейвлет перетворення.

Спрощена структурна схема квадратурного демодулятора зображена на рисунку [2]. Де S_{in} – квадратурний сигнал; $I(t)$ – синфазна складова сигналу; $Q(t)$ – квадратурна складова.

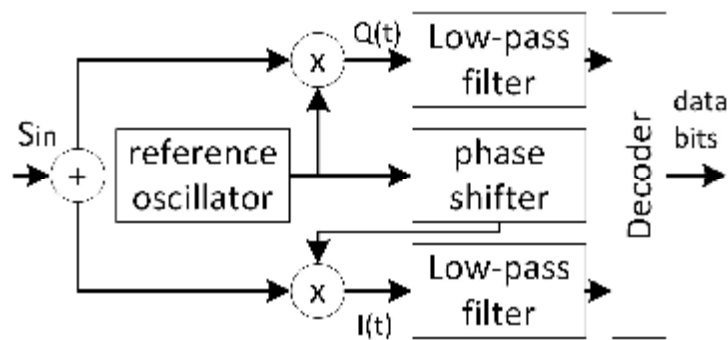


Рис. 1. Спрощена структурна схема квадратурного демодулятора

На рисунку, блок декодування (decoder) являє собою узгоджений фільтр, або корелятор, що по чергово аналізує складові кожного символу та вносить відповідне рішення (data bits). Тобто модифікація цього блоку дозволить збільшити завадостійкість системи.

Багатосимвольне декодування

При посимвольному декодуванні відсутня можливість аналізувати переходи між символами. Оскільки вагова обробка кожного символу згладжує його краї (переходи). В свою чергу, спроба фільтрації декількох символів класичними методами призведе до додаткового «просочення» шуму в сигнал. Це спричинено нелінійністю миттєвої частоти квадратурних складових сигналу.

Застосовуючи вейвлет перетворення (вираз 1) для детектування символної послідовності стає можливим використати локальні часо-частотні властивості материнської функції [1].

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \psi_{(a,b)}^*(t) dt \quad (1)$$

де $W(a,b)$ – функція вейвлет перетворення;

a – масштабний коефіцієнт;

b – зсув в часі;

$s(t)$ – сигнал;

$\psi_{(a,b)}^*(t)$ – материнський вейвлет (комплексно спряжений).

Розглянемо найпростіший випадок квадратурних модуляцій – BPSK. Будучи виродженням різновидом, декодер аналізує виключно синфазну складову $I(t)$ (рис. 2).

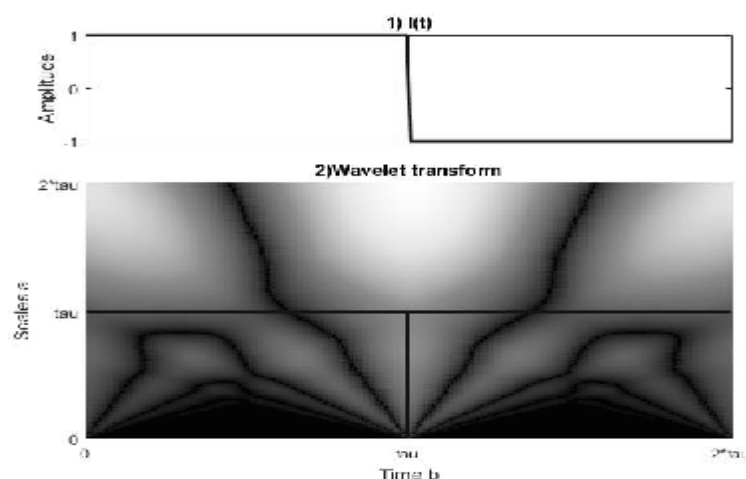


Рис. 2. Аналіз сигналу використовуючи вейвлет перетворення

Де на рисунку $2\tau(t)$ – тривалість одного символу.

Вейвлет аналіз сигналу (Рис. 2. 2) дозволяє отримати інформативні поверхні для кожного символу ($a[0 \quad t]$ та $b[(n-1)t \quad nt]$, де n – номер символу). Чого вже достатньо для детектування. Проте, задіявши додаткову, верхню, частину поверхні ($a[t \quad 2t]$ та $b[0 \quad 2t]$) стає можливим додатковий аналіз переходів між сигналами.

Збільшуючи кількість символів при перетворенні, стає можливим аналіз не лише міжсимвольних переходів, а й міжсимвольного впливу. Тобто частину поверхні $a[(n-1)t \quad nt]$ та $b[t \quad t+nt]$ для

$n > 2$.

Модифікація декодера

Заклавши в основу ідею багатосимвольного декодування запропоновано алгоритм роботи декодера з використанням вейвлет перетворення. Структурна схема якого представлена на рис. 3.

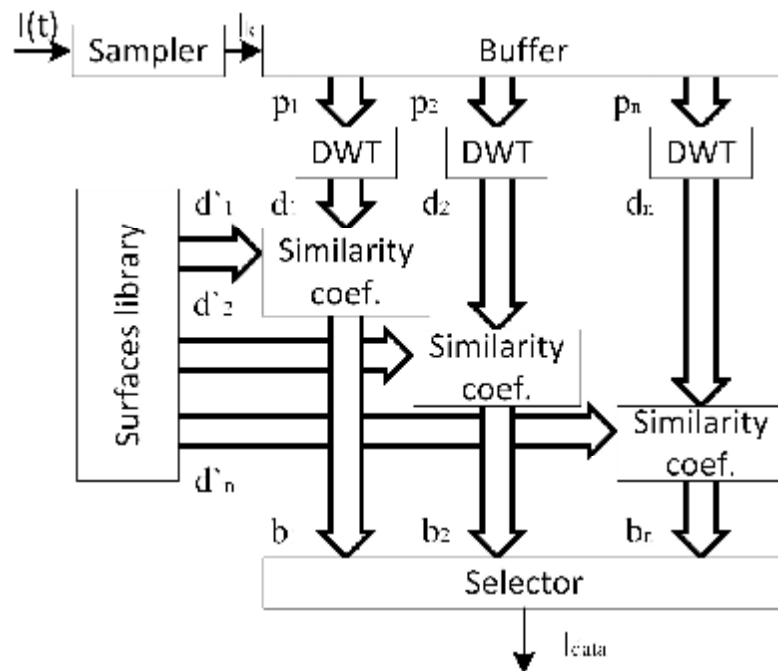


Рис. 3. Структурна схема синфазної ланки багатосимвольного квадратурного декодера

На вхід декодера надходять низькочастотні квадратурні складові. На рис. 3. зображено лише синфазну частину $I(t)$. Для квадратурної $Q(t)$ алгоритм залишається незмінним.

Дискретизатор (sampler) заповнює буфер (buffer) відліками I_k задовольняючи умові теореми Найквіста. Тобто частота дискретизації більш ніж удвічі перевищує верхню межу смуги пропускання. На виході буфера формуються масиви відліків p_n , де n – кількість символів. Кількість відліків у сформованих векторах дорівнює:

$$P_n = t \cdot f_s \cdot n, \quad (2)$$

де P_n – кількість відліків на виході n ;

f_s – частота дискретизації.

Блоки дискретного вейвлет перетворення (DWT) виконують розклад (1) на основі заданого материнського вейвлету ψ . Отримані масиви d_n розмірністю $[P_n \ P_n]$ порівнюються зі зразковими d'_n (що надходять із бібліотеки станів, Surfaces library). Для проведення порівняння блок Similarity coef. визначає косинус кута між матрицями, що обчислюється на основі їх скалярного добутку. А у випадку обробки декількох символів – між можливими символьними комбінаціями. Загальна кількість комбінацій для n символів складає:

$$C_n = l^n, \quad (3)$$

де C_n – кількість комбінацій;

l – кількість рівнів (станів).

Саме тому на виході блоку Similarity coef. формується вектор вказаної довжини C_n . Де, в свою чергу, селектор (Selector) виносить рішення щодо рівня сигналу l що було передано. Рішення приймається на основі усередненого коефіцієнту для кожного стану. Що і формує символьну послідовність синфазної складової I_{data} . В свою чергу, при урахуванні квадратурної складової дозволяє провести повноцінне декодування сузір'я.

Для наочності роботи багатосимвольного декодера на рис. 4 наведено основні осцилограми його роботи. Приведені осцилограми, для більшої наочності, не враховують затримку в часі для кожного із блоків.

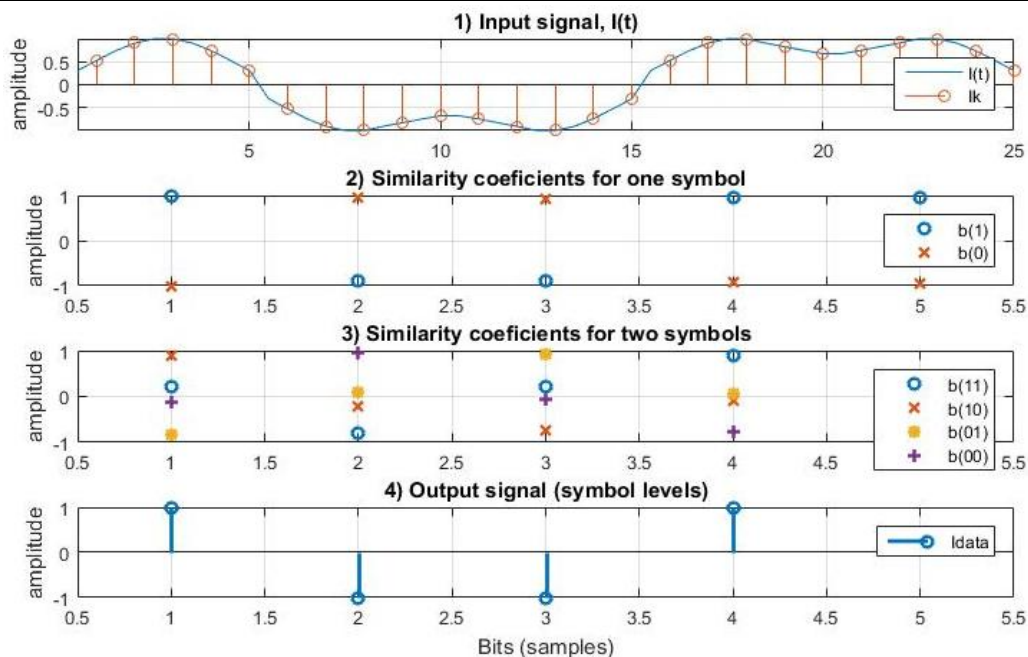


Рис. 4. Осцилограми роботи блоків багатосимвольного декодера

Робота блоків визначення коефіцієнтів подібності (Similarity coef.) для одного та двох символів зображено на рис. 4. 2) та рис. 4. 3) відповідно.

Коефіцієнти $b(1)$ та $b(0)$ приймають значення близькі до одиниці у випадку співпадиння матриці $\mathbf{d}_1$ із відповідною матрицею із Surfaces library. Це продиктовано тим, що скалярний добуток є ніщо інше як косинус кута між векторами. Оскільки, при співпадинні, кут дорівнює нулю – тоді косинус приймає максимальне значення. У випадку визначення подібності поверхонь із декількох символів рис. 4. 3) – вірною вважається та, коефіцієнт якої найбільший. Беручи до уваги коефіцієнти векторів $\mathbf{b}_n$ на виході селектора формується сигнал синфазної складової рис. 4. 4). Що у випадку BPSK модуляції співпадає із кінцевою бітовою послідовністю.

Висновки

Приведена методика, застосовно до квадратурних типів модуляції має на меті задіяти міжсимвольні переходи разом із аналізуванням кореляційних відгуків на декілька символів (вейвлет перетворення). Таким чином, це дозволить підвищити завадостійкість системи зменшуючи дисперсію символів на виході системи. Варто зазначити, необхідність оптимізації запропонованої методики. Основними напрямками якої є:

Проведення дослідження із пошуку оптимального базису (у випадку вейвлет перетворення – материнської функції).

Встановлення впливу кількості блоків багатосимвольної обробки на завадостійкість системи.

Дослідження роботи запропонованої методики для різновидів квадратурних методів модуляції (pi/4DQPSK, QAM-16, ...) та в умовах певних стандартів.

Література

1. Daubechies, Ten lectures on wavelets. Philadelphia: SIAM. 1992, 437 pp.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / Сергиенко А. Б. – 2002. – 458 с.
3. Нанеев Р.М. Математические модели в задачах обработки сигналов / Р.М. Нанеев. – М. : Горячая линия-Телеком, 2004. – 350 с.

Рецензія/Peer review : 23.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 19.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Мартинюк В.В.

ВПЛИВ ФОРМИ ПЛАНАРНИХ ІНДУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЇХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПАРАМЕТРИ

Анотація. В роботі проведено розрахунок індуктивності та добротності планарних індуктивних елементів, круглої, квадратної та трикутної конфігурацій, з різною кількістю витків. Зроблено аналіз впливу форми індуктивних елементів на їх електромагнітні параметри. Показано, що при однакових розмірах індуктивність та добротність котушок круглої форми є кращими у порівнянні з котушками інших конфігурацій.

Ключові слова: індуктивний елемент, індуктивність, опір, добротність

V.A. ANDRIYCHUK, M.S. NAKONECHNY
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

EFFECT FORM OF PLANAR INDUCTIVE ELEMENT ON THEIR ELECTROMAGNETIC PARAMETERS

Abstract – The work of modern electronic ballasts devices at high frequencies enables them to reduce overall dimensions for planar structures. Aim of the paper is to calculate the electromagnetic parameters of planar coils.

For the calculation of coil inductance it turns are replaced corresponding closed contours. Inductance planar coils defined as the sum of their own and mutual inductances. Was calculated dependence planar inductor coils from their shape, and shown a inductance of triangular coil is greater compared to other coil's form. It is shown that the same area of a triangle planar inductor more than the round to 32 %.

Since of the increase in the area of the coil, increases the length of wire, was calculated according inductance coil and its resistance. In the case of multilayer inductors, circular coil delivers 17-14% less resistance compared to other configurations with the same inductance. Reducing ohmic resistance leads to an increase quality factor and reduce heat losses. So that shown round form is better compared to the square and triangular.

Keywords: inductive element, inductance, resistance, quality factor.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень

Тенденції в розвитку сучасних компонентів радіоелектронної апаратури спрямовані на зменшення їх габаритних розмірів та покращення електротехнічних параметрів. Великий інтерес в цьому представляють індуктивні елементи (ІЕ), які широко використовуються в схемах живлення енергоощадних джерел світла.

Сучасна пускорегулювальна апаратура для енергозберігаючих ламп КЛЛ та СД працює на високих частотах 30–100 кГц, що дозволяє зменшити їх конфігурацію та габарити до плоских конструкцій. Такі конструкції впроваджуються як елементи інтегральних схем, а також у вигляді друкованих плат для трансформаторів силової електроніки[1].

Планарні котушки індуктивності дозволяють виготовляти різного роду мініатюрні пристрої, які по своїй формі можна розділити на меандри і спіральні [2].

ІЕ типу меандр використовуються для одержання низьких значень індуктивності, зазвичай менше 10 нГн, і використовуються в основному в мікросхемах що працюють на частотах порядку 1–10 МГц [3]. На відміну від котушок такого типу спіральні (кругові і прямокутні) володіють більш високою індуктивністю.

Якщо електричні контури виготовлені з немагнітного матеріалу, та розміщені в повітрі, то магнітну проникність оточуючого середовища можна вважати рівною $\mu = 1$. В такому випадку власна та взаємна індуктивність контурів залежить від форми, розмірів та їх взаємного розміщення, а також від характеру розподілу струмів в провіднику [4]. Поряд з цим ставиться вимога зниження як маси так і габаритів ІЕ, при забезпеченні необхідних значень індуктивності та добротності. Тому є **актуальним** дослідження залежності цих параметрів від конфігурації котушки.

Мета і завдання дослідження.

Розрахувати вплив конфігурації планарних ІЕ на їх індуктивність та добротність, та визначити найбільш оптимальну форму котушки.

Виклад основного матеріалу та методика досліджень.

Індуктивність планарного ІЕ який складається з n витків може бути представлена як сума їх власної та взаємної індуктивностей:

$$L = \sum_{k=1}^n L_k + \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n M_{km}, \quad k \neq m, \quad (1)$$

де L_k – власна індуктивність n -го витка;

M_{km} – взаємна індуктивність k -го і m -го витка.

Взаємна індуктивність двох окремих витків визначається як

$$M_{km} = \frac{m_0}{4p} \int_{l_k} \int_{l_m} \frac{dl_k dl_m}{a}, \quad (2)$$

де m_0 – магнітна стала яка дорівнює $4p \times 10^{-7}$ Гн/м,

a – найкоротша відстань від елемента dl_k k -го витка до елемента dl_m m -го витка.

З (2) можна зробити висновок що як взаємна індуктивність витків, так і індуктивність планарного ІЕ буде залежати від їх взаємного розміщення тобто від форми котушки.

Для розрахунку індуктивності окремого витка котушки замінено її відповідними замкнутими витками рис. 1.

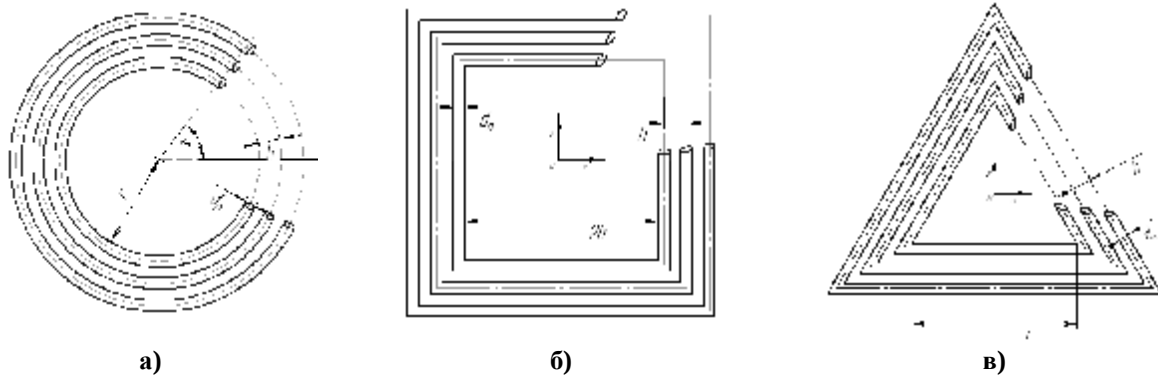


Рис. 1. Схематичне представлення планарних котушок різної форми: а) – кругла, б) – квадратна, в) – трикутна

Згідно з виразами, наведеними в [4], власна індуктивність одношарової кругової котушки – $L_{кр.}$, квадратної – $L_{кв.}$, та у вигляді рівностороннього трикутника – $L_{тр.}$, може бути визначена з рівнянь:

$$L_{кр} = m_0 \sum_{k=0}^{w-1} \sum_{m=0}^{w-1} \int_0^p \frac{C_{1кр} C_{2кр} \cos j \, dj}{\sqrt{C_{1кр}^2 + C_{2кр}^2 - 2C_{1кр} C_{2кр} \cos j}} \quad (3)$$

$$C_{1кр} = r + \frac{d_n}{2} + hm, \quad C_{2кр} = r + hk;$$

$$L_{кв} = \frac{2m_0}{p} \sum_{k=0}^{w-1} \sum_{m=0}^{w-1} \int_{x_1=0}^{b+\frac{d_n}{2}+kh} \int_{x_2=-b-mh}^{b+mh} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + C_{1кв}^2}} - \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + C_{2кв}^2}}$$

$$C_{1кв} = (m - k)h - \frac{d_n}{2}, \quad C_{2кв} = 2b + (m + k)h + \frac{d_n}{2}; \quad (4)$$

$$L_{тр} = \frac{3m_0}{2p} \sum_{k=0}^{w-1} \sum_{m=0}^{w-1} \int_{x_1=0}^{\frac{c+d_n\sqrt{3}}{2}+hm\sqrt{3}} \int_{x_2=-\frac{c}{2}-hk\sqrt{3}}^{\frac{c}{2}+hk\sqrt{3}} \left(\frac{1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + C_{1тр}^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + ((\frac{c}{2} - |x_2|)\sqrt{3}) + C_{2тр}^2}} \right) dx_1 dx_2 \quad (5)$$

$$C_{1тр} = \frac{d_n}{2} + h(m - k), \quad C_{2тр} = \frac{d_n}{2} + h(m + 2k)$$

де m та k – порядковий номер витка котушки (внутрішній виток прийнято за нульовий);
 w – кількість витків;
 d_n – діаметр провідника;
 h – відстань між витками.

Якщо геометричні розміри котушки задано в мм то її індуктивність визначатиметься в мГн.

Згідно ГОСТ 23.751-86 встановлено допустиме струмове навантаження для провідних доріжок друкованих плат, виготовлених з мідної фольги, що становить 100-250 А/мм². Зазвичай нижня межа приймається для внутрішніх провідників багатошарових друкованих плат, а верхня – для зовнішніх шарів. Вважається, що теплообмін провідників на зовнішніх шарах кращий і що вони здатні пропускати більші

струмові навантаження без небезпечного перегріву.

Враховуючи що струм ЛЛІ не перевищує 1 А, можна визначити площу поперечного перерізу провідника $s_n = 0,01 \text{ мм}^2$

На рис 2 показано залежність індуктивності плоских одношарових котушок з різною кількістю витків. Відстань між витками $h = 0,1 \text{ мм}$ та діаметр $d_n = 0,11 \text{ мм}$ провідника для всіх типів котушок однакові. Розмір сторони квадратної котушки $2b$, та сторона трикутної c підібрані таким чином, щоб каркаси витків кругової котушки були вписані у відповідні каркаси квадратної та трикутної котушки:

$$r = b = \frac{\sqrt{3}}{6} c. \quad (6)$$

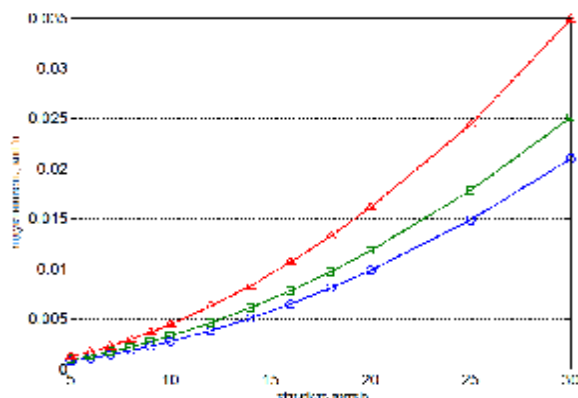


Рис. 2. Залежність індуктивності від кількості витків для різного типу плоских котушок

З рис. 2 видно що індуктивність для трикутної котушки зростає із збільшенням кількості витків сильніше у порівнянні з котушками інших форм. Це пояснюється більшою площею внутрішнього витка, а також більшим приростом загальної площі зі збільшенням кількості витків.

Оскільки котушка повинна забезпечити потрібну індуктивність при малих габаритних розмірах, тому є доцільним розрахувати залежність індуктивності від її площі. Площі квадратної та трикутної котушок можна, згідно умови (6), виразити через площу круглої за такими рівняннями:

$$S_{кр} = p(r + wd_n + (w-1)h)^2; \quad (7)$$

$$S_{кв} = 4(r + wd_n + (w-1)h)^2; \quad (8)$$

$$S_{тр} = 3\sqrt{3}(r + wd_n + (w-1)h)^2. \quad (9)$$

На рис. 3 показано відношення індуктивності котушок (мГн) від їх площі (мм^2). Маркери на графіках відповідають кількості витків, $w = [5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30]$.

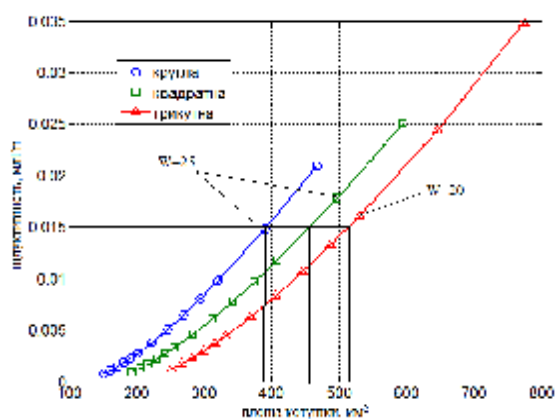


Рис. 3. Залежність індуктивності котушок різної форми від їх площі

З рисунка видно, що для забезпечення індуктивності (наприклад 0,015 мГн), котушка круглої форми матиме 25 витків, квадратної приблизно 23, а трикутної 19. З рівнянь (7-9) видно що площі котушок різної форми матимуть різний приріст зі збільшенням кількості витків, що в свою чергу призведе до збільшення загальної площі котушок. На рис. 3 показано, що при вказаній індуктивності площі котушок будуть суттєво відрізнятися. Найменшу площу (390 мм^2) матиме котушка круглої форми, а найбільшу – трикутної (515 мм^2).

Збільшення кількості витків супроводжується збільшенням довжини провідника, що призводить до зростання омичного опору котушки, та збільшення витрат матеріалу на

її виготовлення. Загальну довжину провідника котушки з W витків можна розрахувати як суму периметрів її каркасів. В такому випадку вирази для довжини провідників досліджуваних конфігурацій котушок матимуть вигляд:

$$l_{кр} = \sum_{m=1}^w 2p(r + wd_n + (w-1)h), \quad (10)$$

$$l_{кв} = \sum_{m=1}^w 8(r + wd_n + (w-1)h), \quad (11)$$

$$l_{тр} = \sum_{m=1}^w 6\sqrt{3}(r + wd_n + (w-1)h). \quad (12)$$

Опір провідника визначається з рівняння:

$$R = r \frac{l_{\text{кот}}}{S_n} \quad (13)$$

де r - питомий опір матеріалу (у випадку котушки виготовленої з мідного провідника $r = 1.8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом/м}$);

$l_{\text{кот}}$ - довжина провідника котушки відповідної форми в метрах.

Для визначення добротності індуктивних елементів важливим є його активний опір. Тому було проведено визначення зв'язку між L та R . На рис. 4 наведені відповідність значення опору котушки і її індуктивності.

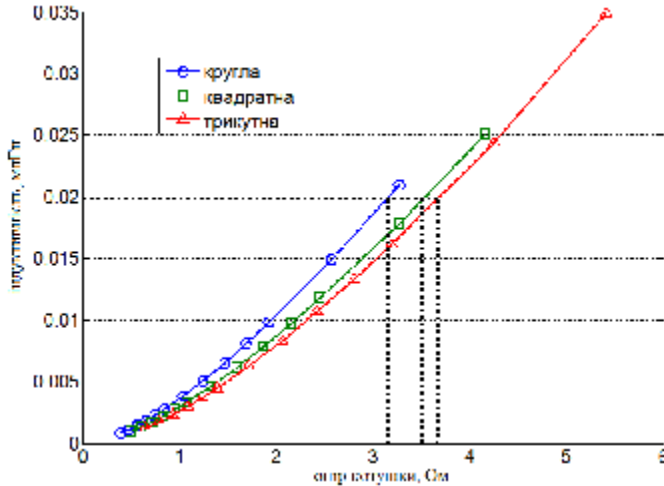


Рис. 4. Відповідність індуктивності котушок різної форми та їх опору

котушок при збереженні площі їх можна виготовляти у вигляді багаточислових конструкцій.

$$L_{kp} = m_0 \sum_{k=0}^{w-1} \sum_{m=0}^{w-1} \sum_{n=0}^{q-1} \sum_{f=0}^{q-1} \int_0^p \frac{B_{1kp} B_{2kp} \cos j \, dj}{\sqrt{A + B_{1kp}^2 + B_{2kp}^2 - 2 B_{1kp} B_{2kp} \cos j}} \quad (14)$$

$$B_{1kp} = r + \frac{d_n}{2} + h_2 m, B_{2kp} = r + h_2 k; A = h^2 (m - k)^2;$$

$$L_{\kappa\kappa} = \frac{2m_0}{p} \sum_{n=0}^{q-1} \sum_{f=0}^{q-1} \sum_{k=0}^{w-1} \sum_{m=0}^{w-1} \int_{x_1=0}^{b+\frac{d_n}{2}+fh_2} \int_{x_2=-b-mh_2}^{b+mh_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + B_{1\kappa\kappa}^2 + A}} - \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + B_{2\kappa\kappa}^2 + A}} \quad (15)$$

$$B_{1\kappa\kappa} = (n - f)h_2 - \frac{d_n}{2}, B_{2\kappa\kappa} = 2b + (n + f)h_2 + \frac{d_n}{2};$$

$$L_{mp} = \frac{3m_0}{2p} \sum_{n=0}^{q-1} \sum_{f=0}^{q-1} \sum_{k=0}^{w-1} \sum_{m=0}^{w-1} \int_{x_1=0}^{\frac{c+d_n\sqrt{3}}{2}+h_2n\sqrt{3}} \int_{x_2=-\frac{c}{2}-h_2f\sqrt{3}}^{\frac{c}{2}+h_2f\sqrt{3}} \left(\frac{1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + B_{1mp}^2 + A}} - \frac{1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + ((\frac{c}{2} - |x_2|)\sqrt{3}) + B_{2mp}^2 + A}} \right) dx_1 dx_2 \quad (16)$$

$$B_{1mp} = \frac{d_n}{2} + h_2 (n - f), C_{2mp} = \frac{d_n}{2} + h_2 (n + 2f),$$

де h_2 - відстань між шарами котушки;

n, f - порядковий номер шару.

Розрахувавши індуктивність котушок різної конфігурації за вище наведеними формулами та врахувавши, що їх опір прямо пропорційний кількості шарів, можна побудувати відповідності між індуктивністю котушки та її опором для мідної плівки. Дані графіки наведені на рис. 5.

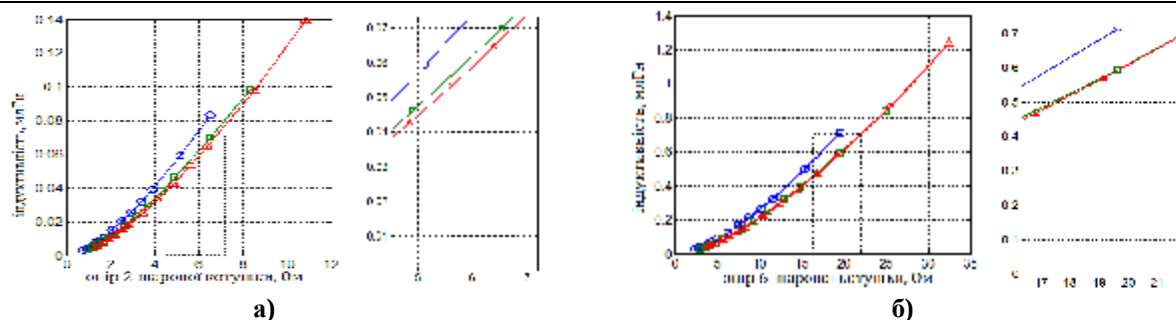


Рис. 5. Зв'язок між індуктивністю котушок різної форми та їх активним опором;
а - двошарових, б - шестишарових

З рис. 5 випливає, що зі збільшенням кількості шарів опори квадратної та трикутної котушок дуже близькі, а для шестишарової співпадають. Опір двошарової трикутної котушки при її індуктивності 0,06 мГн на 17% більший у порівнянні із круглою (рис. 5а). Збільшення кількості шарів ІЕ призводить як до зростання індуктивності та і опору. З рис. 5б видно, що опір круглої шестишарової котушки індуктивністю 0,6 мГн становить 17,5 Ом, а трикутної та квадратної 20 Ом, що на 14% більше. Таким чином при конструюванні планарних ІЕ для забезпечення меншого власного опору доцільно використовувати круглу конфігурацію витків котушки.

Висновки

При використанні планарних ІЕ круглої форми можна отримати більшу індуктивність при менших розмірах у порівнянні із котушками трикутної та квадратної конфігурації. Показано що при однаковій індуктивності площа ІЕ трикутної форми на 32% більша у порівнянні з круглою. При використанні одношарових котушок за умови раціонального розміщення компонентів на друкованій платі та забезпечення високої добротності доцільно використовувати квадратну конфігурацію в порівнянні із трикутною. У випадку багатошарових котушок, кругла форма забезпечує на 14-17% кращу добротність у порівнянні з іншими конфігураціями, при однаковій індуктивності.

Література

1. Клестова Н. Применение планарных трансформаторов на основе многослойных печатных плат / Н. Клестова // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – № 4. – С. 37–38.
2. Ефименко А. А. Печатные индуктивные элементы и перспективы их использования / А. А. Ефименко, П. П. Карлангач // МНПК «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса, 26–30 мая 2014. – С. 52–53.
3. C.-H. Ahn, Y.-J. Kim, and M.-G. Allen, Proceedings of 6th International conference on Solid State Sensors and Actuators, p. 70 (1993).
4. Калантаров П. Л. Расчет индуктивностей: Справочная книга / П.Л. Калантаров, Цейтлин Л. А. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 488 с
5. Немцов М. В. Справочник по расчету параметров катушек индуктивности / М. В. Немцов, Ю. М. Шамаев. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 192 с.

Рецензія/Peer review : 22.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 19.2.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

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

An approach of aggregating expert estimations into consensus pairwise comparison matrix is suggested. The aggregation criterion is minimization of the weighted distance between the consensus pairwise comparison matrix and pairwise comparison matrices of experts. The matrix distance is Euclidean-based metric in the space of all positive inverse-symmetric matrices whose subset is the space of all pairwise comparison matrices. The consensus is found slightly simpler for experts with identical competences. Expert estimations are treated consistent if they do not differ badly. For checking consistency or concordance of expert estimations, two inequalities are controlled. The first inequality addresses maximal distance among weighted pairwise comparison matrices of experts. The second one addresses maximal difference among entries of these matrices. For experts with identical competences, the two inequalities are stated simpler, without weighting. The suggested approach is applicable, regardless the comparison scale, for solving hierarchical multicriteria problems by finite number of alternatives.

Keywords: expert estimations, comparison scale, pairwise comparison matrix, aggregation of expert estimations, matrix distance, consensus, competences of experts, consistency of expert estimations.

В.В. РОМАНЮК
Хмельницький національний університет

КРИТЕРІЙ АГРЕГУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК В УЗАГАЛЬНЕНУ МАТРИЦЮ ПОПАРНИХ ПОРІВНЯНЬ ЗА ДАНОЮ ШКАЛОЮ ПОРІВНЯНЬ У ВІДПОВІДНОМУ ПРОСТОРИ ДОДАТНИХ ОБЕРНЕНО-СИМЕТРИЧНИХ МАТРИЦЬ

Пропонується підхід до агрегування експертних оцінок в узагальнену матрицю попарних порівнянь. Критерієм агрегування є мінімізація зваженої відстані між узагальненою матрицею попарних порівнянь і матрицями попарних порівнянь експертів. Матричною відстанню є метрика на основі евклідової відстані у просторі усіх додатних обернено-симетричних матриць, підмножиною якого є простір усіх матриць попарних порівнянь. Узагальнення знаходиться дещо простіше для експертів з однаковими компетентностями. Експертні оцінки вважаються узгодженими, якщо вони не сильно різняться. Для перевірки узгодженості експертних оцінок контролюються дві нерівності. Перша нерівність звертається до максимальної відстані між зваженими матрицями попарних порівнянь експертів. Друга нерівність звертається до максимальної різниці між елементами цих матриць. Дані дві нерівності записуються простіше, без зважування, для експертів з однаковими компетентностями. Незалежно від шкали порівнянь, запропонований підхід є застосовним для розв'язування ієрархічних багатокритеріальних задач зі скінченною кількістю альтернатив.

Ключові слова: експертні оцінки, шкала порівнянь, матриця попарних порівнянь, агрегування експертних оцінок, матрична відстань, узагальнення, компетентності експертів, узгодженість експертних оцінок.

Problem of aggregating expert estimations

Expert estimations (EE) may differ badly. Simple aggregation of such estimations, e. g., arithmetic or geometrical mean, may turn inconsistent or incorrect. Therefore, a criterion of EE consistency should be. If EE are consistent by the criterion, then the corresponding solution analysis is applicable.

As a pattern, consider pairwise comparison matrix (PCM) used in solving hierarchical multicriteria problems (HMCP) by finite number of alternatives (possible solutions or strategies). PCM is widely applied within the well-known Saaty method of analytic hierarchy process (AHP). Using the spread scale of comparisons [1, 2], the variety of PCM is finite. Obviously, the consensus PCM must be a matrix of those ones in the PCM variety. Even a trivial example shows, however, that averaging arithmetically or geometrically gives an off-the-scale matrix which is not a PCM: if 2 and 3 are values given by two experts, their arithmetic mean 2.5 is off-the-scale value, and their geometric mean $\sqrt{6}$ is off-the-scale value as well.

This is the motivation to develop an approach of EE aggregation such that the approach could be applicable regardless the scale of comparisons. In other words, this approach should work on any variety of PCM.

How the consensus PCM is obtained

In most practical cases, while an HMCP is solved by PCM involved at least two experts, a question of how the consensus PCM is obtained appears unclear. For instance, the paper [3] derives a group PCM, wherein a consensus index of a sequence of individual PCM is defined and two consensus improving methods are developed by introducing a general aggregation operator based on Abelian linearly ordered group. Based on multiplicative AHP model with lognormal errors, the paper [4] proposes a Bayesian revision method for improving a sequence of individual PCM under the assumption that the consensus exists among decision makers, which is considered an aid to aggregation of individual judgments and aggregation of the individual priorities. In the paper [5], it is declared that using the row geometric mean as the prioritization procedure, consensus is sought between the different decision makers when the modifications of their initial positions or judgments are guaranteed to be within the range of values accepted for a given inconsistency level. A general model to generate crisp priority weights of the

alternatives from possibly inconsistent and conflicting fuzzy preference relations is proposed in [6], where the model is expressed in terms of fuzzy matrix approximations, and in the aggregation process, the importance of each expert is taken into consideration according to the agreement of the group with the expert.

A lot of apparent drawbacks of those decisional tools spring from superfluous complications, assumptions needing supplementary substantiations, impossibility to achieve a complete matrix [5], invalidity of fuzzifying numerical judgments in the AHP [7, 8]. Besides, often supplementary statistics is needed [4, 6, 7, 9, 10]. Thus, the EE aggregation is an issue.

Goal and items to be accomplished to meet it

The final goal is to state an approach of the EE aggregation into a consensus PCM along with a criterion of consistency of this PCM. Note that here consistency of the consensus PCM is treated in the sense of succeeding to EE consistency, rather than concerning the principal eigenvalue (PE) and consistency index [7, 10, 11]. This is so because validity is the target in decision-making, not consistency, which can be successively improved by manipulating the judgments as the answer gets farther and farther from reality [7]. And validity is founded on that EE do not differ badly, what allows to bring them into the consensus.

For meeting the said goal, the following items are going to be made:

1. Formalize the scale of the comparison result.
2. Formalize the space (called earlier variety) of all PCM.
3. Formalize the space of all positive inverse-symmetric matrices (PISM) whose subset is the space of all PCM.
4. Introduce a metric in the PISM space.
5. Suggest how to aggregate EE in their PCM into a consensus PCM belonging to the space of all PCM.
6. Suggest a criterion which would ensure consistency of EE in their PCM and let apply the corresponding consensus PCM in solving an HMCP.

The comparison scale and spaces of PCM and PISM

By the Saaty method of AHP, the comparison result is reflected usually with the 17-pointed scale whose values are [1, 2, 7, 11, 12]

$$\left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\} \quad (1)$$

and only these ones are elements of PCM. Each value in the set (1) has its own interpretation suitable to the appropriate situation. Here the first nine natural numbers are used. Generalization of the comparison scale is that the comparison result is reflected on the scale of the first S natural numbers for $2S - 1$ graduation marks

$$A(S) = \left\{ \{m^{-1}\}_{m=2}^S, 1, \{m\}_{m=2}^S \right\} \text{ by } S \in \mathbb{N} \setminus \{1\}. \quad (2)$$

Thus, having N objects (alternatives, criteria, subcriteria, etc.) by $N \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$ and J experts by $J \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$, PCM of the j -th expert is $\mathbf{A}_j = [a_{ik}^{(j)}]_{N \times N}$ where

$$a_{ik}^{(j)} \in A(S) \text{ by } a_{ik}^{(j)} = \frac{1}{a_{ki}^{(j)}}. \quad (3)$$

Denote by

$$\mathbf{A}_N(S) = \left\{ \mathbf{A} = [a_{ik}]_{N \times N} : a_{ik} \in A(S), a_{ik} = a_{ki}^{-1} \right\} \quad (4)$$

the space of all $N \times N$ PCM with the comparison scale (2). It is clear that $\mathbf{A}_j \in \mathbf{A}_N(S)$ and the space (4) is finite. However, the space (4) is a partial case of PCM variety generated by the scale (2). The space (4) contains not all PISM. But the infinite space

$$\mathbf{B}_N = \left\{ \mathbf{B} = [b_{ik}]_{N \times N} : b_{ik} > 0, b_{ik} = b_{ki}^{-1} \right\} \quad (5)$$

contains all $N \times N$ PCM generated by any scale of positive values. So, $\mathbf{A}_N(S) \subset \mathbf{B}_N$ and a metric to measure distance between two PCM should be introduced just right in the PISM space (5).

Euclidean-based metric in the space of PISM

Denote the distance between PISM

$$\mathbf{X} = [x_{ik}]_{N \times N} \in \mathbf{B}_N \text{ and } \mathbf{Y} = [y_{ik}]_{N \times N} \in \mathbf{B}_N \quad (6)$$

by $\rho_{\mathbf{B}_N}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$. These two PISM (6) can be represented as ordinary N^2 -dimensional points in Euclidean arithmetic space $\mathbb{R}^{N^2}$. Therefore, it is natural to measure distance [13] between PISM (6) by the Euclidean-based metric:

$$\rho_{\mathbf{B}_N}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \|\mathbf{X} - \mathbf{Y}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N (x_{ik} - y_{ik})^2}. \quad (7)$$

Properties of PISM declared in (5) allow to deduce a formula for simpler calculation of the distance (7):

$$\begin{aligned} \rho_{\mathbf{B}_N}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) &= \|\mathbf{X} - \mathbf{Y}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \left[(x_{ik} - y_{ik})^2 + (x_{ik}^{-1} - y_{ik}^{-1})^2 \right]} = \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \left[(x_{ik} - y_{ik})^2 + \frac{(y_{ik} - x_{ik})^2}{(x_{ik} y_{ik})^2} \right]} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \frac{1 + (x_{ik} y_{ik})^2}{(x_{ik} y_{ik})^2} \cdot (x_{ik} - y_{ik})^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Excluding main diagonal, by formula (8) we need to sum up $\frac{N(N-1)}{2}$ terms instead of $N(N-1)$ terms by formula (7). This is twice faster.

The consensus PCM belonging to the space of all PCM

If there was just a single expert, no consensus PCM would be required because PCM of this expert would be already applicable. In the case of J experts, whose weights $\{\xi_j\}_{j=1}^J$ are such that

$$\xi_j \in (0; 1) \text{ for } j = \overline{1, J} \text{ by } \sum_{j=1}^J \xi_j = 1, \quad (9)$$

where the weight ξ_j indicates at the j -th expert's competence, the consensus PCM must be selected among $|\mathbf{A}_N(S)|$ PCM of the space $\mathbf{A}_N(S)$. Formally, this is to determine a mapping of J PCM $\{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J$ into the consensus PCM $\mathbf{\bar{A}} = [a_{ik}]_{N \times N}$ so that $\mathbf{\bar{A}} \in \mathbf{A}_N(S)$. Neither weighted arithmetic mean

$$\mathbf{M} = [m_{ik}]_{N \times N} \text{ by } m_{ik} = \sum_{j=1}^J \xi_j a_{ik}^{(j)}$$

nor weighted geometric mean

$$\mathbf{G} = [g_{ik}]_{N \times N} \text{ by } g_{ik} = \prod_{j=1}^J (a_{ik}^{(j)})^{\xi_j}$$

is the mapping unless all matrices $\{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J$ are identical. But generally $\mathbf{M} \notin \mathbf{A}_N(S)$ and $\mathbf{G} \notin \mathbf{A}_N(S)$. Moreover, $\mathbf{M} \notin \mathbf{B}_N$ though $\mathbf{G} \in \mathbf{B}_N$.

If the q -th PCM in the space $\mathbf{A}_N(S)$ is

$$\mathbf{C}_q = [c_{ik}^{(q)}]_{N \times N} \in \mathbf{A}_N(S) \subset \mathbf{B}_N \text{ by } q = \overline{1, |\mathbf{A}_N(S)|} \quad (10)$$

then the weighted distance between this PCM and J PCM $\{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J$ is

$$\rho(\mathbf{C}_q, \{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J) = \sum_{j=1}^J \xi_j \cdot \rho_{\mathbf{B}_N}(\mathbf{A}_j, \mathbf{C}_q) = \sum_{j=1}^J \xi_j \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \frac{1 + (a_{ik}^{(j)} c_{ik}^{(q)})^2}{(a_{ik}^{(j)} c_{ik}^{(q)})^2} \cdot (a_{ik}^{(j)} - c_{ik}^{(q)})^2}. \quad (11)$$

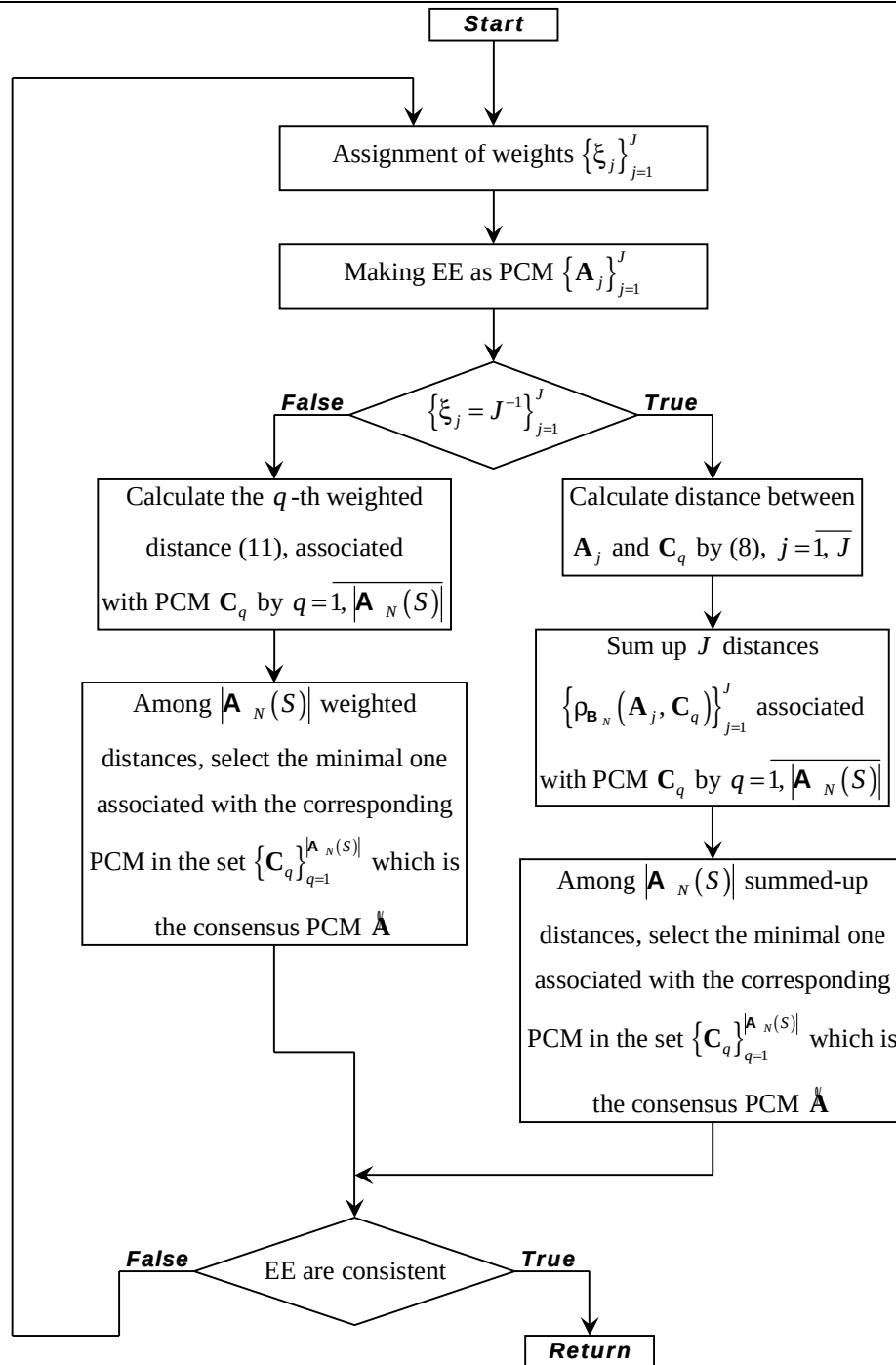
Then

$$\mathbf{\bar{A}} \in \arg \left\{ \min_{\substack{\mathbf{C}_q \in \mathbf{A}_N(S) \subset \mathbf{B}_N \\ q=1, |\mathbf{A}_N(S)|}} \rho(\mathbf{C}_q, \{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J) \right\} \quad (12)$$

is the required consensus PCM. Note that if expert procedures involve experts with identical competences then the consensus PCM (12) is found slightly simpler:

$$\mathbf{\bar{A}} \in \arg \left\{ \min_{\substack{\mathbf{C}_q \in \mathbf{A}_N(S) \subset \mathbf{B}_N \\ q=1, |\mathbf{A}_N(S)|}} \left(\sum_{j=1}^J \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \frac{1 + (a_{ik}^{(j)} c_{ik}^{(q)})^2}{(a_{ik}^{(j)} c_{ik}^{(q)})^2} \cdot (a_{ik}^{(j)} - c_{ik}^{(q)})^2} \right) \right\}. \quad (13)$$

Either the minimization problem (12) by (11) or the minimization problem (13) is solved trivially (Figure 1) owing to that they deal with the finite set $\mathbf{A}_N(S)$ of possible solutions.

Figure 1. A routine for finding the consensus PCM $\hat{\mathbf{A}}$

It is important that the routine in Figure 1 describes the succession of steps for finding the consensus PCM $\hat{\mathbf{A}}$ before consistency of EE is checked. Though EE consistency was expected to be checked straight off after weights $\{\xi_j\}_{j=1}^J$ and PCM $\{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J$ are known, matrix $\hat{\mathbf{A}}$ may come indispensable for reasoning upon EE consistency. That is why the EE consistency checking module has been put in the end of the routine, after the consensus PCM $\hat{\mathbf{A}}$ is selected in the course of solving a trivial minimization problem.

Consistency of EE

The consensus PCM $\hat{\mathbf{A}}$, when found, can be applied in solving an HMCP only if there is a concordance (consistency) of EE. Consistency is a requirement of that EE would not be badly diverse. This will prevent premature conclusions on relationships among objects which are compared.

Basically, for making a conclusion on EE consistency, we should check how bad the expert matrices $\{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J$ are scattered. For this, we calculate the maximal distance in the space $\mathbf{A}_N(S)$. The maximal distance between two PCM is reached when every pair of their entries of the same location is maximally opposite. Therefore,

all the pairs (except the main diagonal) must include entries $\{S, S^{-1}\}$ and

$$\begin{aligned} \max_{\substack{q=1, |\mathbf{A}_N(S)|-1 \\ r=q+1, |\mathbf{A}_N(S)|}} \rho_{\mathbf{B}_N}(\mathbf{C}_q, \mathbf{C}_r) &= \max_{\substack{q=1, |\mathbf{A}_N(S)|-1 \\ r=q+1, |\mathbf{A}_N(S)|}} \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \frac{1 + (c_{ik}^{(q)} c_{ik}^{(r)})^2}{(c_{ik}^{(q)} c_{ik}^{(r)})^2} \cdot (c_{ik}^{(q)} - c_{ik}^{(r)})^2} = \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \frac{1 + (S \cdot S^{-1})^2}{(S \cdot S^{-1})^2} \cdot (S - S^{-1})^2} = \sqrt{\frac{(S^2 - 1)^2}{S^2} \cdot 2 \cdot \frac{N(N-1)}{2}} = \frac{S^2 - 1}{S} \sqrt{N(N-1)}. \end{aligned} \quad (14)$$

Furthermore, matrices $\{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J$ may appear scattered not much, but if a pair of entries of the same location includes too different comparisons, that is an evidence of inconsistency. Obviously, that the maximally different comparisons constitute the same pair $\{S, S^{-1}\}$ and $\mathbf{i}$ -distance between them is $S - S^{-1} = \frac{S^2 - 1}{S}$. The minimally different comparisons always constitute, without loss of generality, a pair

$$\{c_{ik}^{(q)}, c_{ik}^{(r)}\} = \{c_{ik}^{(q)}, c_{ik}^{(q)} + 1\}$$

and $\mathbf{i}$ -distance between them is 1.

If experts have identical competences then, after the consensus PCM (13), we check if the inequality

$$\max_{\substack{j=1, J-1 \\ l=j+1, J}} \rho_{\mathbf{B}_N}(\mathbf{A}_j, \mathbf{A}_l) \gg \gamma_N(S) \cdot \frac{S^2 - 1}{S} \sqrt{N(N-1)} \quad \text{by } \gamma_N(S) \in (0; 1) \quad (15)$$

is true. Along with this, the inequality

$$\max_{\substack{j=1, J-1 \\ l=j+1, J}} \left\{ \max_{\substack{i=1, N-1 \\ k=i+1, N}} \left\{ \left| a_{ik}^{(j)} - a_{ik}^{(l)} \right|, \left| \frac{1}{a_{ik}^{(j)}} - \frac{1}{a_{ik}^{(l)}} \right| \right\} \right\} \gg \mu_N(S) \quad \text{by } \mu_N(S) \in \left[1; \frac{S^2 - 1}{S} \right] \quad (16)$$

is checked also. Values $\gamma_N(S)$ and $\mu_N(S)$ are parameters of consistency of EE made by identical competence experts. The lesser these parameters are taken the stronger requirement for EE consistency is.

If experts have non-identical competences, the consistency conditions (15) and (16) are not relevant. Consequently, instead of comparing PCM $\mathbf{A}_j$ and $\mathbf{A}_l$ the ξ_j -weighted PCM $\mathbf{A}_j$ must be compared to the ξ_l -weighted PCM $\mathbf{A}_l$. Denote the ξ_j -weighted PCM by $\mathbf{A}_j^{(\xi_j)} = \left[a_{ik}^{(j, \xi_j)} \right]_{N \times N}$. Apparently, the greater ξ_j the smaller change of the non-main-diagonal entry $a_{ik}^{(j)}$ should be. Ultimately,

$$\lim_{\xi_j \rightarrow 1} a_{ik}^{(j, \xi_j)} = a_{ik}^{(j)} \quad \text{by } i \neq k. \quad (17)$$

And vice versa, the smaller ξ_j the greater change of the non-main-diagonal entry $a_{ik}^{(j)}$ should be, but here the inaccessible ultimate value $\xi_j = 0$ must correspond to the unitary PCM implying that, by zero competence EE, objects are indistinguishable:

$$\lim_{\xi_j \rightarrow 0} a_{ik}^{(j, \xi_j)} = 1 \quad \text{by } i \neq k. \quad (18)$$

Basing upon conditions (17) and (18), define the mapping of PCM $\mathbf{A}_j$ into the ξ_j -weighted PCM as

$$\mathbf{A}_j^{(\xi_j)} = \mathbf{Z}_{N, S}(\mathbf{A}_j, \xi_j) \quad \text{by } \mathbf{A}_j^{(\xi_j)} \in \mathbf{B}_N \quad \text{and } a_{ik}^{(j, \xi_j)} = 1 + \xi_j (a_{ik}^{(j)} - 1) \quad \text{for } k > i \quad \forall k = \overline{i+1, N}. \quad (19)$$

It is clear that properties of the mapping (19) satisfy two conditions (17) and (18) of weighting a PCM. Then, after the consensus PCM (12) is found by (11), we check if the inequality

$$\max_{\substack{j=1, J-1 \\ l=j+1, J}} \rho_{\mathbf{B}_N}(\mathbf{A}_j^{(\xi_j)}, \mathbf{A}_l^{(\xi_l)}) \gg \gamma_N(S) \cdot \frac{S^2 - 1}{S} \sqrt{N(N-1)} \quad \text{by } \gamma_N(S) \in (0; 1) \quad (20)$$

is true. Along with this, the inequality

$$\max_{\substack{j=1, J-1 \\ l=j+1, J}} \left\{ \max_{\substack{i=1, N-1 \\ k=i+1, N}} \left\{ \left| a_{ik}^{(j, \xi_j)} - a_{ik}^{(l, \xi_l)} \right|, \left| \frac{1}{a_{ik}^{(j, \xi_j)}} - \frac{1}{a_{ik}^{(l, \xi_l)}} \right| \right\} \right\} \gg \mu_N(S) \quad \text{by } \mu_N(S) \in \left(0; \frac{S^2 - 1}{S} \right) \quad (21)$$

is checked. Parameters of EE consistency $\gamma_N(S)$ and $\mu_N(S)$ for (20) and (21) are adjusted in the same way as for (15) and (16), although their order may be different (Figure 2).

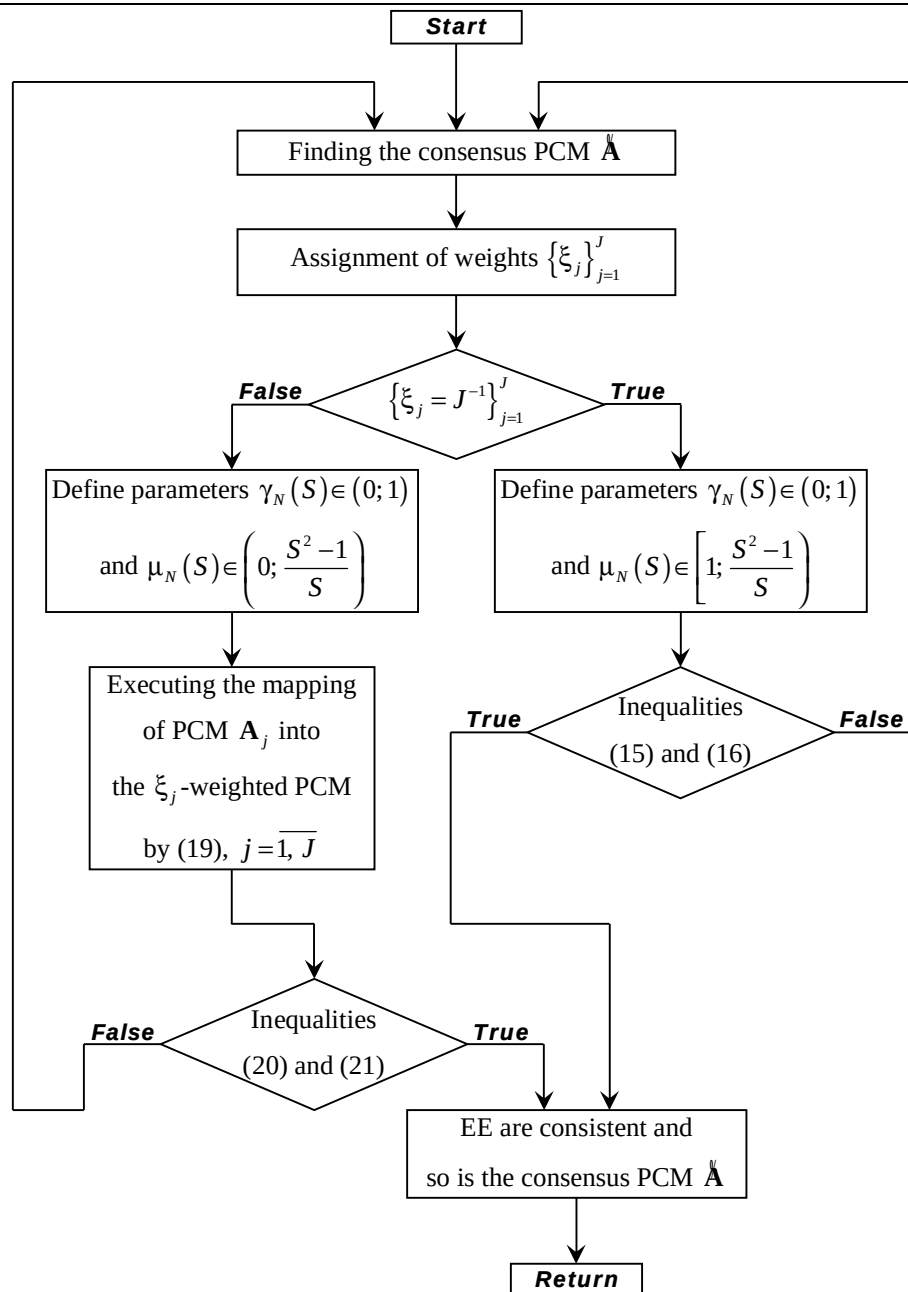


Figure 2. A routine for checking consistency of EE in their PCM $\{A_j\}_{j=1}^J$

The routine in Figure 2 describes that module which checks whether EE in their PCM $\{A_j\}_{j=1}^J$ are consistent or not. The checking module is the bottom diamond in the routine in Figure 1. And so when the routine in Figure 1 runs, it uses the routine in Figure 2 as its subroutine.

Discussion

Consistency of EE is believed to come first before consistency related to final ranking comes. The reason is that when EE are not concordant the final ranking based on the consensus PCM is perceived just like an average, although this average may seem to reflect a fallacious “trustworthy” relationship among objects which are compared. If “trustworthy” then the consensus PCM will be PE-consistent (but inconsistent following EE inconsistency). EE inconsistency, or bad differences among expert judgments, is an evidence of that the objects are not studied well yet. And PE-consistent ranking of such objects is senseless.

There is an opinion that, however, EE consistency relates to PE-consistency. This is explained with that too “close” EE are probably going to be inherited by good PE-consistency. Nonetheless, good PE-consistency does not always mean EE consistency.

It is worthy to note that instead of Euclidean-based metric in the space of PISM, stated as (7) and calculated as (8), some other metrics could have been used [13]. They are Manhattan, Cosine, Dice, and Jaccard distance functions whose application produces significant differences in the measurement of consensus [13]. Besides, these

four metrics are not more natural than the Euclidean-based metric (7), and so their usage is a matter of another issue.

In assessing the EE consistency, when experts have non-identical competences, the weighted distances $\{\xi_j \cdot \rho_{B_N}(\mathbf{A}_j, \mathbf{U})\}_{j=1}^J$ or $\max_{j=1, J} \rho_{B_N}(\mathbf{A}_j^{(\xi_j)}, \mathbf{U})$ could have been used by the unitary $N \times N$ matrix $\mathbf{U}$. Matrix $\mathbf{U}$ being the unitary PCM is the inaccessible ultimate case implying indistinguishability of the studied objects. Nevertheless, the proposed mapping of PCM $\mathbf{A}_j$ into the ξ_j -weighted PCM $\mathbf{A}_j^{(\xi_j)}$ satisfies two limit conditions (17) and (18), what lets use the metric (7) and engage inequalities (20) and (21) with inequalities (15) and (16). This eventually completes the approach of aggregating EE and checking their consistency.

Conclusion

The suggested criterion of aggregating EE into the consensus PCM is independent of the comparison scale. It ensures consistency of EE in their PCM by plain requirements which regard competences of experts. The stated approach of the EE aggregation is realized as the routine in Figure 1 with its subroutine in Figure 2, where the EE consistency checking module could have been put at the start, straight off after weights $\{\xi_j\}_{j=1}^J$ and PCM $\{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J$ are known, and before the consensus PCM $\mathbf{A}$ is found. And matrix $\mathbf{A}$ is not needful for checking consistency of EE in their PCM $\{\mathbf{A}_j\}_{j=1}^J$ but, not to lose generality, the consensus PCM is included into the subroutine.

Once EE is revealed to be consistent (i. e., without bad differences among expert judgments), the corresponding consensus PCM and the objects' ranking should be applied in solving an HMCP. Certainly, consistency of EE depends strongly on competences of experts. If expert procedures recur then competences change, and accurate tracking of those competences expressed as weights $\{\xi_j\}_{j=1}^J$ by (9) is required. Hence, the next must be an approach to re-evaluate the experts' competences while a group of objects is studied sequentially.

References

1. Saaty T. L. Comparison of eigenvalue, logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios / T. L. Saaty, L. G. Vargas // *Mathematical Modelling*. – 1984. – Volume 5, Issue 5. – P. 309–324.
2. Ichihashi H. A neuro-fuzzy approach to data analysis of pairwise comparisons / H. Ichihashi, I. B. Türkmen // *International Journal of Approximate Reasoning*. – 1993. – Volume 9, Issue 3. – P. 227–248.
3. Xia M. Consistency and consensus improving methods for pairwise comparison matrices based on Abelian linearly ordered group / M. Xia, J. Chen // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2015. – Volume 266. – P. 1–32.
4. Lin C. Bayesian revision of the individual pair-wise comparison matrices under consensus in AHP-GDM / C. Lin, G. Kou // *Applied Soft Computing*. – 2015. – Volume 35. – P. 802–811.
5. Escobar M. T. Some extensions of the precise consistency consensus matrix / M. T. Escobar, J. Aguarón, J. M. Moreno-Jiménez // *Decision Support Systems*. – 2015. – Volume 74. – P. 67–77.
6. Dopazo E. A parametric model for determining consensus priority vectors from fuzzy comparison matrices / E. Dopazo, K. Lui, S. Chouinard, J. Guisse // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2014. – Volume 246. – P. 49–61.
7. Saaty T. L. On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process / T. L. Saaty, L. T. Tran // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2007. – Volume 46, Issues 7–8. – P. 962–975.
8. Ramík J. Inconsistency of pair-wise comparison matrix with fuzzy elements based on geometric mean / J. Ramík, P. Korviny // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2010. – Volume 161, Issue 11. – P. 1604–1613.
9. Chiclana F. A statistical comparative study of different similarity measures of consensus in group decision making / F. Chiclana, J. M. Tapia García, M. J. del Moral, E. Herrera-Viedma // *Information Sciences*. – 2013. – Volume 221. – P. 110–123.
10. Vargas L. G. The consistency index in reciprocal matrices: Comparison of deterministic and statistical approaches / L. G. Vargas // *European Journal of Operational Research*. – 2008. – Volume 191, Issue 2. – P. 454–463.
11. Saaty T. L. Dispersion of group judgments / T. L. Saaty, L. G. Vargas // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2007. – Volume 46, Issues 7–8. – P. 918–925.
12. Saaty T. L. An essay on rank preservation and reversal / T. L. Saaty, M. Sagir // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2009. – Volume 49, Issues 5–6. – P. 1230–1243.
13. Chiclana F. Analyzing Consensus Measures in Group Decision Making / F. Chiclana, J. M. Tapia García, M. J. del Moral, E. Herrera-Viedma // *Procedia Computer Science*. – 2015. – Volume 55. – P. 1000–1008.

Рецензія/Peer review : 7.1.2016 р. Надрукована/Printed :24.2.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ПРИНЦИПИ ФАЗОЧАСТОТНОГО ПІДХОДУ ДО ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ПРОВІДНИКОВИХ ЛІНІЙ

Розроблено та представлено базис фазочастотного підходу в діагностуванні стану провідникових ліній. Показано, що фазовий метод при умові зміни частоти тестового сигналу вироджується у імпульсний метод діагностування, але в "уявному" часі. Такий підхід ґрунтується на спільності фізичної природи понять "фаза" та "частота".

Застосування фазових методів вимірювання відстаней є точним методом. Але застосування його в провідникових лініях має певні обмеження. Наявність невизначеного за параметрами пошкодження або зміни параметрів лінії призводить до появи додаткового кута зсуву фази. Застосування фазочастотного підходу до аналізу сигналів відбиття дозволяє зменшити вплив цих факторів на точність визначення відстаней.

Ключові слова: кут зсуву фази, швидкість розповсюдження.

K.L. HORIASCHENKO

Khmelnitsky national university, Ukraine

PHASE-FREQUENCY PRINCIPLES OF DIAGNOSIS APPROACH WIRING LINES

Developed and presented base phase-frequency approach to diagnosing the state of conductor lines. It is shown that the phase method provided the test signal frequency changes degenerates in pulse diagnosis method, but "imaginary" time. This approach is based on the common physical nature of the concepts of "phase" and "frequency".

Application phase methods of measuring distances are accurate method. But its use in semiconductor lines has certain limitations. The presence of unspecified parameters for damages or change the settings line leads to an additional phase shift angle. The use of phase-frequency approach to signal analysis reflectance can reduce the impact of these factors on the accuracy of distances.

Keywords: phase shift angle, speed distribution.

Вступ. Одним з актуальних питань сучасності є і залишається актуальним забезпечення діагностики стану провідникових ліній, що забезпечують передачу електричної енергії низького, середнього та високого рівня напруги (LV, MV, HV). Одночасно з цим, задача діагностики стану провідникової лінії ставиться і до провідникових ліній зв'язку.

Теоретичні та практичні аспекти розв'язку задач в цій області розглянуто в роботах таких вчених як: Гроднев І.І., Андреев В.А., Шалит Г.М., Аксенов Ю.П., Лебедев Г.М., Ляпіна А.Г., Кадомска К.П., Качесов В.Е., Лавров Ю.А., Сахно В.В., Benjamin T.L., Chen C.S., Roemer L.E., Robinson S.R., Thorn D.C., Grumbach R.S., Backmann M., Pfeiler C., Wabmuth A. та інших [1, 2, 3].

Діагностика кабельних ліній проводиться періодично із застосуванням як неруйнуючих так і руйнуючих методів аналізу стану лінії. Фактично, обслуговування кабельних ліній стоїть перед завданням використання існуючих кабельних мереж протягом їх часу експлуатації, використанням кабельних ліній понад їх експлуатаційний період, а також проведення заходів з виявлення та поступової заміни старих кабелів на більш сучасні.

Застосування фазового методу для визначення стану провідникових ліній є зручним інструментом для аналізу стану лінії. Простота аналізу отриманих даних шляхом вимірювання кута зсуву відбитого сигналу широко застосовується в задачах радіонавігації, в задачах вимірювання відстаней до будь-якого об'єкту. В роботах [4, 5] показано застосування фазових вимірювань, а у [6] – принципи побудови ноніусних фазометричних вимірювачів, що можуть бути використані в задачах застосування фазового методу вимірювання.

Постановка задачі дослідження

Наявна простота фазових методів вимірювання часто базується на використанні принципових обмежень, що в свою чергу і унеможливають використання фазових методів вимірювання в першому наближенні. Слід звернути увагу на той факт, що типове застосування фазового методу вимірювання відстаней до пошкоджень ґрунтується на ряді принципових позицій, а саме:

1) Існування повного відбиття сигналу від об'єкту або пошкодження. Проте повне відбиття є лише одним з випадків проходження сигналу. Зазвичай поняття "повного відбиття" може бути застосовано лише за умов існування короткого замикання або обриву стосовно провідникового середовища розповсюдження електричного сигналу [7]. На практиці, провідникова лінія може містити пошкодження [7], а тому сигнал може проходити через таке пошкодження з частковим поверненням енергії.

2) Кут відбиття сигналу від пошкодження є 180° (або π радіан), а знак кута відбиття "+" або "-" визначається тільки типом об'єкту та відповідним знаком коефіцієнту відбиття Γ [9]. Як було розглянуто у роботах [9, 10] коефіцієнт відбиття не завжди є тільки "+1" (обрив) або "-1" (коротке замикання). Таке значення коефіцієнта відбиття є лише крайнім випадком. На практиці, коефіцієнт відбиття в межах від -1 до +1 для так званих "часткових пошкоджень". Зміни внутрішнього стану кабелю (осердя або оболонки), як це показано у [11], значно частіше призводять до часткових пошкоджень і лише з часом ведуть до повного

руйнування.

3) Сталість швидкості розповсюдження сигналу в діапазоні робочих частот проведення вимірювання. Швидкість розповсюдження визначається як $u = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Для високих частот, швидкість

розповсюдження може бути прийнята як достатньо стала величина, проте в роботі [7] показано, що величини L та C є частото залежними, а отже і швидкість u є також залежною від частоти сигналу.

Наявність таких умов призводить до проблеми застосування фазових методів в оцінюванні та вимірюванні відстаней до пошкодження, особливо якщо таких пошкоджень є два або більше.

Аналіз та визначення шляхів вирішення

Таким чином, застосування фазових методів вимагає більш ґрунтовного визначення умов застосування, та їх врахування, на відміну від інших досліджень застосування фазових методів.

Отже, фазовий метод визначення відстаней у провідникових лініях ґрунтується на визначенні відстані до пошкодження l шляхом визначення кута зсуву фази φ при відомій частоті f_s зонduючого сигналу. В відомому виразі [4]:

$$\varphi = \frac{2\pi \cdot 2l}{v_{\text{wave}}} \cdot f_s = 2\pi \frac{2l}{\lambda_{\text{wave}}}, \quad (1)$$

причому швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі v_{wave} приймається постійною в робочому діапазоні $f_{s\min} \dots f_{s\max}$. Також в цьому виразі приймається повне відбиття сигналу від поверхні відбиття. Тобто, сигнал відбиття не змінює свою фазу після відбиття.

Наявність пошкодження в лінії призводить до відбиття енергії падаючого сигналу та утворенні відбиття [7]. Але, як відомо, пошкодженням у провідниковій лінії може виступати не тільки коротке замикання та обрив. Також, у якості пошкодження може бути і часткове пошкодження провідникової лінії, в наслідок чого виникає зміна хвильового опору на певній ділянці лінії.

Сутність фазочастотного підходу діагностики провідникових ліній

Розглянемо кожну з трьох принципових позицій з точки зору класичних методів та фазочастотного підходу, що запропоновано автором.

Перша позиція. Розглянемо режим неузгодженого навантаження характерний для випадку появи пошкодження на певній частині довжини лінії або в кінці лінії. В спрощеному вигляді розглядається неузгодженість навантаження, що розміщена в кінці лінії. Представляє собою зміну опору $Z_n = 0$ або $Z_n = \infty$. У цьому режимі співвідношення опорів лінії та навантаження визначається виразом $Z_n \neq Z_c$. Отже, з'являються прямі і зворотні хвилі (рис. 1).

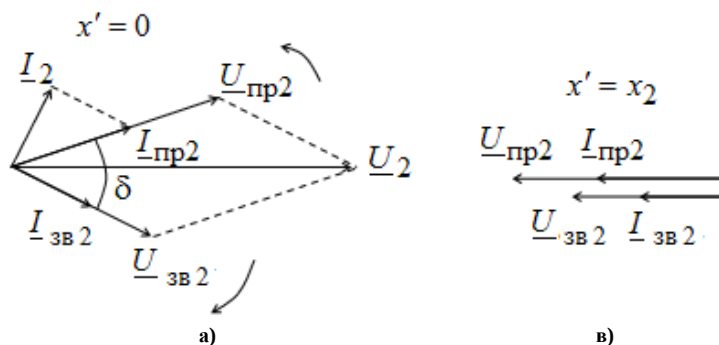


Рис. 1. Положення векторів струмів і напруг прямої і зворотної хвиль

З ростом відстані від кінця лінії, вектори хвиль відбиття знаходяться під певним кутом, що визначається відстанню до пошкодження та частоти сигналу, що використовується для зондування лінії [4]. Причому особливо слід відмітити, що приріс кута зсуву фази ($j_i = 2p \cdot 2l_i / l$) є прямопропорційний не тільки відстані (l_i), а й довжини хвилі тестового сигналу (l). Як видно з рисунку 1, якщо відбиттів два, то і складових сумарного вектору також дві:

$$j_1 = 2p \cdot 2l_1 / l \text{ та } j_2 = 2p \cdot 2l_2 / l.$$

В роботі [10] детально показано утворення процесу обертання векторів відбиттів як функції приросту кута зсуву фази до приросту частоти сигналу, що зондує лінію. Тобто визначається так звана "частота обертання" вектору відбиття, що в загальному визначається як :

$$\Omega_i = 2l_i / u, \quad (2)$$

де u – швидкість розповсюдження сигналу в середовищі.

Вираз (2) є складовим між такими фізичними поняттями як "частота" та "фаза". Проте, як видно з

виразу (2), утворена "частота обертання" є функцією не від фізичного часу, а від частоти або довжини хвилі.

Перехід від хибного розуміння результатів вимірювання кутів зсуву фази як результату статичного вимірювання та перехід саме до аналізу динаміки зміни кута зсуву фази є принциповою відмінністю в запропонованому фазочастотному розумінні фізичної природи процесів, що відбуваються в лінії.

Друга позиція. Особливо показним для фазочастотного підходу є здатність робити з врахуванням додаткової зміни кута зсуву фази сигналу відбиття, що має місце в лінії за умов неузгодженості. В відомих методах застосування фазового методу ґрунтується саме на принциповому обмеженні – припущенні, що зсув фази буде лише $+180$ або -180 градусів як для випадків обриву або короткого замикання.

Відомо, що за наявності реактивної складової можливим стає довільне значення кута зсуву фази. Виникає зміна кута сигналу відбиття q . З виразу (5) та (6) слідує, що додаткова зміна кута зсуву фази сигналу відбиття буде визначатись як:

$$q_n = \begin{cases} p - 2 \arctan \frac{X_n}{R_0}, & \text{при } X_n > 0; \\ -p - 2 \arctan \frac{X_n}{R_0}, & \text{при } X_n < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Тобто вираз (1) з врахуванням (3) трансформується до:

$$\varphi = 2\pi \frac{2l}{\lambda_{\text{wave}}} + \theta_n, \quad (4)$$

Таким чином, визначення відстані згідно виразу (4) стає ускладненим. Тоді й відстань можна визначити як:

$$l = \frac{(j + q_n) \cdot l}{2 \cdot 2p}.$$

На рис. 2 [12] показано зміна кута сигналу відбиття при зміні X_L від -250 до $+250$ Ом згідно виразу (3). А тому при невідомому характері навантаження визначення відстані навіть до одного пошкодження є апіорі неможливим при застосуванні класичного фазового методу вимірювання відстаней.

Для фазочастотного підходу, навпаки, наявність додаткової зміни кута зсуву фази сигналу відбиття не є настільки

принциповою проблемою. За умови $\frac{X_n}{R_0} ; \text{const}$ при $f \in [f_{\min}, f_{\max}]$, значення q_n згідно виразу (3) також

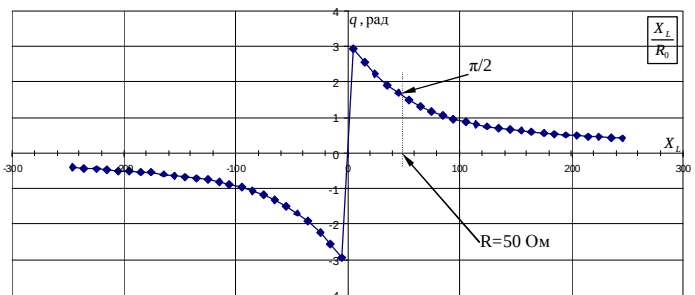


Рис. 2. Зміна кута сигналу відбиття θ при зміні відношення X_L/R_0 . $R_0=50$ Ом

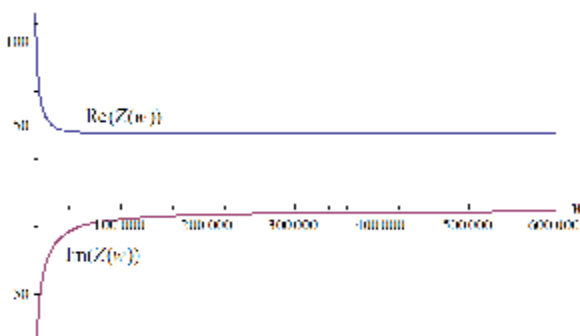


Рис. 3. Зміна дійсної та уявної частин хвильового опору лінії $Z_{xg} [W]$

достатньо низькочастотному діапазоні.

буде залишатись сталим, а тому приріст кута зсуву фази від зміни частоти зонduючого сигналу також буде незмінним.

Третя позиція. Найбільш складною для використання в практиці вимірювань є швидкості розповсюдження сигналу в діапазоні робочих частот. В роботі [13] було досліджено шляхом моделювання та показано, що нажалі, параметри кабелю є частотозалежними. А це впливає на швидкість розповсюдження. Проте, з рис. 3 видно існування області достатньо сталих параметрів, яка обумовлює відносну сталість швидкості розповсюдження. Причому у

Висновки

1. Запропонований фазочастотний підхід є інструментом дослідження, який дозволяє проводити дослідження в провідниковій лінії шляхом застосування розуміння фізичної природи процесів, що мають місце в провідниковій лінії. Як показано в роботі, фазочастотний підхід дає використовувати саме динаміку процесу, а не аналіз за декількома статичними точками вимірювань. Причому слід відмітити особливо те, що на відміну від "динаміки в фізичному часі", в фазочастотному підході має місце "динаміка в уявному часі", або "динаміка зміну процесу від зміни частоти зонduючого сигналу". Що в практичній площині означає можливість виконання кожного циклу вимірювання для певного значення частоти зондування не

миттєво, а маючи достатній часовий ресурс.

2. Фазочастотний підхід є єдиним серед існуючих методів аналізу, що є принципово толерантним до додаткового кута зсуву фази, який зазвичай має місце при неузгодженості опору навантаження та лінії.

Література

1. Гильманов Эдуард Ахнафович. Повышение эффективности эксплуатации кабельных линий передачи на основе их диагностики методом импульсной рефлектометрии / Эдуард Ахнафович Гильманов // автореф. ... к. т. н. по спец. 05.12.13, Уфа, 2009. – 20 с.
2. Hartlein, R., Hampton, N., Hernández, J.C., and Perkel, J. Overview of cable system diagnostic technologies and application / The National Electric Energy Testing Research and Applications Center (NEETRAC), Cable Diagnostic Focus Initiative Project (CDFI), No. 04-211 and 04-212, 2006
3. Reder W., Flaten D. Reliability Centered Maintenance for Distribution Underground Systems // IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 1, 2000, pp. 551-556.
4. Чмых М.К. Цифровая фазометрия / М.К. Чмых. – М.: Радио и Связь, 1993. – 184 с.
5. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) / В.Б. Пестряков. – М.: Советское радио, 1968. - 468 с.
6. Богородицкий А.А. Нониусные аналого-цифровые преобразователи / А.А. Богородицкий, А.Г. Рыжковский. – Библиотека по автоматике, выпуск 533. – М. : Энергия, 1975. – 120 с.
7. Горященко К.Л. Пошкодження провідникових ліній та їх моделі / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – №5. – С. 185-188
8. Горященко К.Л. Класичні моделі провідникових ліній передач / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – №3. – С. 98-101
9. Горященко К.Л. Дослідження перевідбиттів гармонійних сигналів у провідникових лініях зв'язку для випадку двох пошкоджень / К.Л. Горященко, О.І. Полікаровських, В.Є. Гавронський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – №2. – С. 138-140
10. Горященко К.Л. Обертання часових складових сумарного сигналу в фазовій дальнометрії / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 1. – С. 144-147.
11. Горященко К.Л. Діагностика технічного стану провідникових кабельних ліній / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №2. – С. 61-64.
12. Горященко К.Л. Проблеми застосування фазового методу для визначення відстаней до пошкоджень в провідникових лініях / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №1. – С. 118-121
13. Горященко К.Л. Використання середовища Wolfram Mathematica в процесі моделювання кабельних ліній / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – №4. – С. 241-244.

Рецензія/Peer review : 8.1.2016 р. Надрукована/Printed :25.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

ЕФЕКТИВНІСТЬ АНАЛІЗУ СТУДЕНТАМИ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ C++ ТА C# У ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ КУРСОВИХ РОБІТ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ РІЗНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НЕОБХІДНОЇ МОВИ

Розглядається задача оцінювання переваг та недоліків різних мов програмування та обґрунтування вибору необхідної мови для виконання конкретної поставленої математичної задачі. Для цього виконується курсова робота з навчальної дисципліни "Алгоритми та структури даних", в ході якої студенти мають порівнювати способи та принципи роботи з мовою програмування C++ на відміну від цих же засобів в мові C#. В результаті наводиться розмежування областей ефективного використання мов C++ та C#.

Ключові слова: об'єктно-орієнтоване програмування, розумові структури, самоосвіта, пізнавальна діяльність, чисельні методи, кореляційний та регресивний аналіз.

N. I. PRAVORSKA

Khmelnytskyi National University

EFFICIENCY OF STUDENTS' ANALYSIS OF PROGRAMMING LANGUAGES C++ AND C# ALONG WITH THE COURSE WORK IMPLEMENTATION TO ASSESS ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DIFFERENT PROGRAMMING LANGUAGES AND FOR A RATIONALE IN SELECTING AN APPROPRIATE LANGUAGE

The task of evaluating advantages and disadvantages of different programming languages and making a rationale for selecting an appropriate language for a particular mathematical problem is considered. For this, the course work by the subject "Algorithms and Data Structures" is executed, in which students have to compare the methods and principles of the programming language C++ as opposed to the same tools in C#. As a result, a delimitation of efficient-use fields of languages C++ and C# is given.

Keywords: object-oriented programming, mental structure, self-education, cognitive activity, numerical methods, correlation and regression analysis.

Актуальність та постановка задачі. Об'єктно-орієнтоване програмування (ООП) на сьогоднішній день займає важливе місце в курсах вивчення інформатики та програмування вищих навчальних закладів. Вивчення такого матеріалу сприяє повній підготовці висококваліфікованих спеціалістів, які здатні швидко адаптуватися до сучасних об'єктно-орієнтованих технологій і є базовим інструментом розвитку інтелектуальних здібностей людини, яка вважається складовою її культурологічного розвитку.

Програмування – це не тільки власне написання програм. Ефективність діяльності програміста сильно залежить від оточуючого середовища, в якій вона здійснюється. Це середовище включає в себе набір інструментальних засобів, які складають *систему програмування* і тісно взаємодіють з операційною системою. Це середовище включає в себе також і виробничі умови, моральний мікроклімат і т.п. В подальшому, на основі синтаксико-семантичної моделі психологи вважають, що в процесі вивчення програмування у мозку формуються багаторівневі *семантичні розумові структури*, які не пов'язані з визначеною мовою [1, с.24]. Саме тому зазвичай складніше за все вивчити першу мову програмування: доводиться поєднувати вивчення синтаксису з формуванням розумових структур. Без цього неможливо добитися розуміння, хоча, як і в математиці, необхідний відомий компроміс між розумінням та результатом.

Метою цієї статті є забезпечення ефективності аналізу студентами мов програмування C++ та C# у процесі виконання курсових (творчих) робіт з використанням цих мов для того, щоб вони могли оцінити переваги та недоліки різних мов програмування та навчитися обирати необхідну мову для виконання конкретної поставленої математичної задачі.

З точки зору психології, складання програм є багатоетапним процесом, під час якого від формулювання задачі шляхом покрокового уточнення або переформулювання програміст приходить до розв'язку задачі у вигляді внутрішніх семантичних структур, а потім вже і до розв'язку задачі на заданій мові програмування. Процес розуміння програми – її переведення у внутрішню семантичну структуру. Навчання програмуванню – безперервний процес, внутрішньо властивий самій професії програміста.

Також важливим є процес самоосвіти, можливість знайти необхідні для розв'язання поставленої задачі дані в постійно зростаючому обсязі інформації. Сьогодні кожний студент, який отримує вищу освіту, повинен мати конкретні навички з використанням технічних засобів (в тому числі комп'ютерних мереж); вміти 1) добувати інформацію з різних джерел – як із періодичної літератури, так і з електронних комунікацій; 2) переробляти отриману інформацію; 3) представляти її в зрозумілому вигляді; 4) ефективно її використовувати; знати особливості інформаційних потоків у сфері своєї діяльності.

В психолого-педагогічній літературі [2, с.515] з проблеми пізнавальної самостійності наголошується на тому, що пізнавальна самостійність – це одна з властивостей особистості, яка

характеризується такими основними факторами: по-перше, сукупністю знань, умінь та навичок, якими володіє особистість; по-друге, відношенням особистості до процесу діяльності, до результатів і умов її виконання, а також зв'язками з іншими людьми, що виникають в процесі цієї діяльності.

Пізнавальна самостійність проявляється в самостійній пізнавальній діяльності, і від викладача залежить правильна організація такої діяльності. Існують різні підходи до практичного формування пізнавальної самостійності в навчанні [3, с.83].

Під час вивчення студентами дисципліни “Алгоритми та структури даних” враховувалося, що студенти вже проходили курс програмування з вивченням мови ООП С#, а також ними була виконана курсова робота з побудовою математичної моделі запропонованої задачі і написанням програми на мові С#, а також створення проекту з підключенням розроблених баз даних в Microsoft Access. Тому в ході вивчення мови програмування С++, яка була покладена в основу вивчення курсу “Алгоритми та структури даних”, студенти мали змогу порівнювати програмні та алгоритмічні конструкції цих провідних мов програмування, оцінити узагальнене програмування за рахунок використання шаблонів цих мов.

Під час виконання наступної курсової роботи студентам було запропоновано створити математичну модель для розв'язання запропонованої математичної задачі, а саме: основних чисельних методів; спектрального, статистичного, кореляційного та регресивного аналізу; обчислення спеціальних функцій (Бесселя, гамма-функцій, Вебері і т. ін). Написати програму на мові С++, але використовувати не готові програмні об'єкти (кнопки, таблиці, вікна редагування і т. ін.) Visual Studio, як це було в курсовій роботі з використанням мови С#, а написати та відформатувати їх самим.

Важливість використання прикладних задач визначається роллю цих задач в розвитку пізнавального інтересу студентів, їх творчих можливостей, самостійності, гнучкості розуму, умінь узагальнювати знання з різних предметів і наук, а також в розвитку інформаційної культури студентів.

Прикладна задача – теоретична задача практичного змісту [4, с.72]. Практична задача – це задача, в якій описується практико-орієнтована ситуація і розв'язання якої вимагає визначених практичних навичок, в тому числі використання засобів інформаційних технологій.

Тому в ході опанування мови програмування С++ та дисципліни “Алгоритми та структури даних” поєднання наступних форм самостійних робіт якнайбільше сприяє розвитку пізнавальної самостійності студентів:

1. Самостійні роботи, які виконуються за інструкцією (це звичайні задачі на лабораторних роботах). Вони носять пізнавально-узагальнюючий характер, тому що відбувається формування нових понять та навичок роботи з мовою програмування С++. Роль викладача – консультація студентів протягом виконання роботи, подолання ускладнень, які виникають у студентів.

2. Самостійні роботи індивідуального характеру (запропонована розрахункова робота). Вони носять систематизуючий характер, тому що відбувається засвоєння основних положень математичних розрахунків, основних технологій роботи зі знаходження необхідної інформації в мережі Internet та написання програми мовою програмування С++. В основі цих робіт – продуктивний спосіб діяльності. Роль викладача – згідно з індивідуальними або професійними інтересами студентів підготувати завдання [5, с.19].

Приклад поставленої задачі курсової роботи. Тема: Розробка програмної оболонки для апроксимації полінома за методом найменших квадратів.

Математична модель. Апроксимація.

Розглянемо векторний простір V , елементами якого є функції f якого-небудь класу, визначені на одній і тій же області M , і в якій визначена норма $p(f)$, яка має ті ж властивості, що й норма в евклідовому і гільбертовому просторах. Нехай f – елемент з V , і G – простір V . Тоді загальна проблема апроксимації $AP(f, G, p(f))$ полягає в наступному: знайти функцію $\hat{g}(x) \in G$ таку, що

$$D(f, G, p(f)) = \inf_{g \in G} \{p(f - g)\} = p(f - \hat{g}).$$

Функція $\hat{g}(x)$ називається найкращим наближенням, що відповідає $AP(f, G, p(f))$, число $D(f, G, p)$ – дефектом.

З практичної точки зору, мова йде про заміну функції f , що чисельно не виражається через функцію $\hat{g}(x)$, що виражається, за можливістю, як найточніше, тобто, так, щоб для заданого дійсного числа $\varepsilon > 0$ підходящим вибором G одержати дефект, менший за ε .

При обчисленні $AP(f, G, p(f))$ повинні бути знайдені відповіді на такі запитання:

- 1) чи існує найкраще наближення $\hat{g}$?
- 2) чи однозначно визначено $\hat{g}$?
- 3) як можна обчислити $\hat{g}$?

Метод найменших квадратів.

Розглянемо V – простір інтегрованих функцій, визначених на $[a; b]$, з інтегрованим квадратом.

Скалярний добуток функцій $f(x)$ та $g(x)$ визначається як $\int_a^b f(x)g(x)dx$. Такий простір іноді позначається

$R_2(a, b)$. Нехай G_{n+1} – множина всіх многочленів P_n з дійсними коефіцієнтами степені не більше n .

Сформулюємо задачу $AP(f, G_{n+1}, \|\cdot\|)$ наступним чином.

Для заданої функції f знайти многочлен

$$P_n = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x + \hat{a}_2 x^2 + \dots + \hat{a}_n x^n$$

такий, щоб для всіх многочленів P_n із G_{n+1} виконувалась нерівність:

$$\int_a^b (f(x) - \hat{P}_n(x))^2 dx \leq \int_a^b (f(x) - P_n(x))^2 dx.$$

Набір $h_k = x^{k-1}$ ($k=1, 2, \dots, n+1$) степенів функцій виступає як єдиний базис G_{n+1} , а коефіцієнти $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_n$ мінімального многочленна виражаються із системи рівнянь:

$$\sum_{l=0}^n \hat{a}_l \int_a^b x^{l+k-2} dx = \int_a^b x^{l-1} f(x) dx, \quad (k=1, 2, \dots, n+1);$$

$$\sum_{l=0}^n \hat{a}_l \frac{1}{l+k-1} (b^{l+k-1} - a^{l+k-1}) = \int_a^b x^{k-1} f(x) dx, \quad (k=1, 2, \dots, n+1).$$

Слід відмітити, що вона не дуже зручна для обчислень, і може обчислювати з невеликою точністю. Наприклад, при $a=0$ та $b=1$ матрицею цієї системи є матриця Гілберта:

$$H_n = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & \dots & 1/n \\ 1/2 & 1/3 & \dots & 1/(n+1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/n & 1/(n+1) & \dots & 1/(2n-1) \end{bmatrix},$$

норма якої зі збільшенням n необмежено зростає.

Система рівнянь стає особливо простою, якщо в якості базису $\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ просторів G_{n+1} обрати ортогональні многочлени. Для таких многочленів $Q_i(x)$ справедлива рівність:

$$\int_a^b Q_i(x) Q_j(x) dx = 0 \quad (i \neq j)$$

Якщо, крім того,

$$\int_a^b Q_i^2(x) dx = 1 \quad (i=0, 1, \dots, n),$$

то говорять, що многочлени утворюють ортогональну систему.

Для відрізка $[a; b] = [-1; 1]$ – це відомий многочлен Лагранжа

$$P_n(x) = \frac{1}{2^n (n!)} \cdot \frac{d^n}{dx^n} (x^2 - 1)^n, \quad P_0(x) \equiv 1,$$

з властивістю ортогональності

$$\int_{-1}^1 P_n(x) P_m(x) dx = 0, \quad (m \neq n),$$

$$\int_{-1}^1 (P_n(x))^2 dx = \frac{2}{2n+1},$$

де відома рекурентна формула:

$$(n+1)P_{n+1}(x) = (2n+1)xP_n(x) - nP_{n-1}(x)$$

Многочлен $P_n(x)$ має на сегменті $[-1; 1]$ рівно n різних дійсних коренів. Подальше співвідношення ортогональності є таким:

$$\int_{-1}^1 x^k P_n(x) dx = 0, \quad (k=0, 1, \dots, n-1),$$

$$\int_{-1}^1 x^k P_n(x) dx = \frac{2^{n+1} (n!)^2}{(2n+1)!}.$$

Якщо найкраще наближення $\hat{P}_n(x)$ на сегменті $[-1; 1]$ шукається у вигляді лінійної комбінації многочленів Лагранжа

$$\hat{P}_n(x) = \sum_{k=0}^n c_k^{(n)} P_k(x),$$

то для відшукування коефіцієнтів $c_k^{(n)}$ система рівнянь суттєво спрощується:

$$c_k^{(n)} \equiv c_k = \frac{2k+1}{2} \int_{-1}^1 f(x) P_k(x) dx,$$

$$D^2(f, G_{n+1}, \|\cdot\|) = \|f\|^2 - \sum_{k=0}^n \frac{2k+1}{2} (f, P_k)^2 = \int_{-1}^1 f^2(x) dx - \left(\sum_{k=0}^n \left[\int_{-1}^1 f(x) P_k(x) dx \right]^2 \frac{2k+1}{2} \right).$$

Приклад апроксимації многочлену методом найменших квадратів.

Знайти параболу, яка найкращим чином апроксимує функцію $y = \sin t$ на відрізку $[0, \pi]$ в значенні квадратичного відхилення.

1. Перетворення відрізка:

$$x = \frac{2t}{\pi} - 1, \quad y = \sin \left[\frac{\pi}{2}(x+1) \right], \quad -1 \leq x \leq 1.$$

2. Многочлени Лагранжа:

$$P_0 = 1, \quad P_1(x) = x, \quad P_2(x) = \frac{1}{2}(3x^3 - 1).$$

3. Коефіцієнти розкладу:

$$c_0 = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 \sin \left(\frac{\pi}{2}(x+1) \right) dx = \frac{2}{\pi},$$

$$c_1 = \frac{3}{2} \int_{-1}^1 x \sin \left(\frac{\pi}{2}(x+1) \right) dx = 0,$$

$$c_2 = \frac{5}{2} \int_{-1}^1 (3x^3 - 1) \cdot \frac{1}{2} \sin \left(\frac{\pi}{2}(x+1) \right) dx = \frac{10}{\pi} \left(1 - \frac{\pi}{12} \right).$$

4. Апроксимація [6, с. 310]:

$$\hat{P}_2(x) = \frac{\pi}{2} + \frac{10}{\pi} \left(1 - \frac{12}{\pi^2} \right) \cdot \frac{1}{2} (3x^3 - 1)$$

або

$$\hat{P}_2(x) = \frac{2}{\pi} + \frac{10}{\pi} \left(1 - \frac{12}{\pi^2} \right) \cdot \left(\frac{6}{\pi^2} \left(t - \frac{\pi}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \right).$$

Виконання програми.

Програма являє собою оболонку для апроксимації многочлену методом найменших квадратів. Для обчислення необхідно ввести кількість вузлів апроксимації (рис. 1). Залежно від цієї кількості, необхідно буде ввести стільки ж пар чисел X та Y (рис. 2).

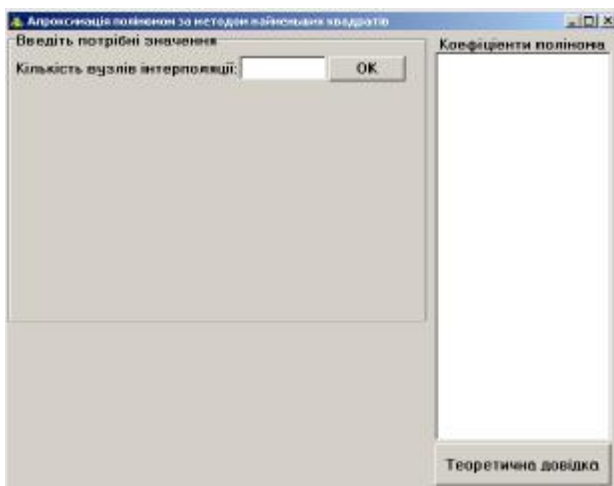


Рис. 1. Основна форма програми

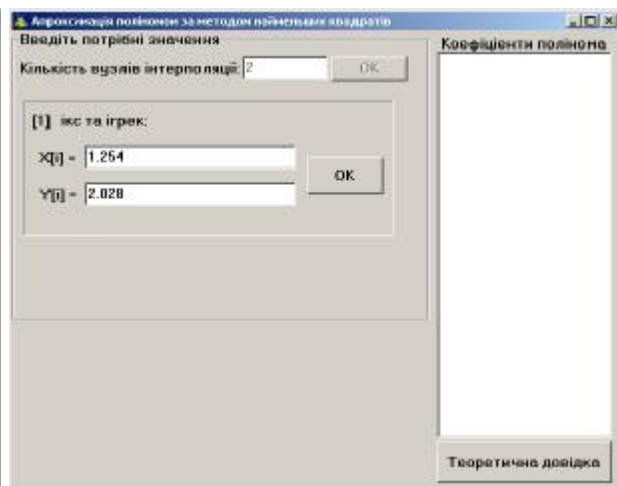


Рис. 2. Введення чисел X та Y

Необхідно ввести або значення похибки інтерполяції, або степінь полінома. Якщо буде введено значення похибки інтерполяції, степінь полінома буде обчислюватися за формулою. І навпаки: якщо буде введено степінь полінома, – розрахується значення похибки інтерполяції. Для вибору необхідного шляху обчислення, необхідно мишкою поставити одну з двох відміток (рис. 3).

Після ведення цих даних, буде проведена частина обрахунків. Якщо дані були введені правильно – необхідно ввести ще значення X (рис. 4).

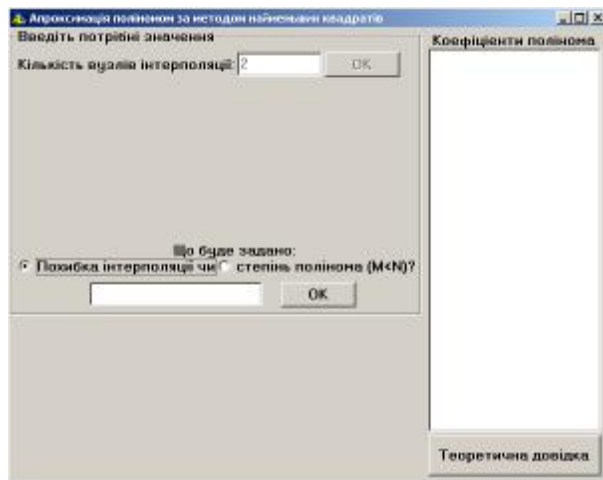


Рис. 3. Вікно вибору варіантів розрахунку

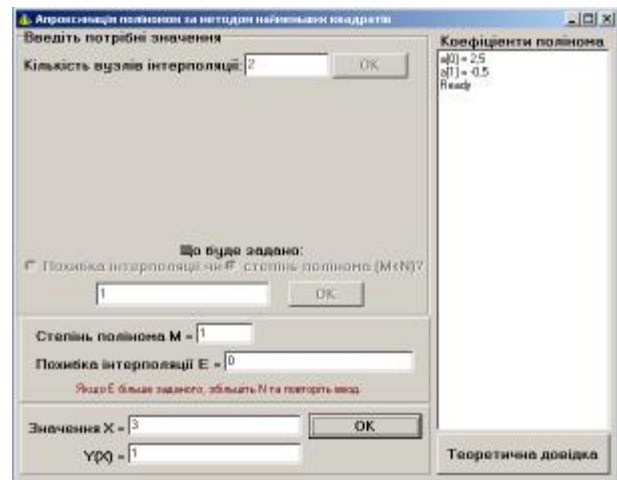


Рис. 4. Вікно для введення значення X

Після цього буде обчислено значення Y.

У вікні “коефіцієнти полінома” з’являться числа $a[0]$, $a[1]$. Це і є коефіцієнти полінома.

Натиснувши кнопку “Теоретична довідка”, відкриється нове вікно (info.txt). У цьому файлі містяться короткі теоретичні відомості про апроксимацію полінома методом найменших квадратів та про метод найменших квадратів (рис. 5).

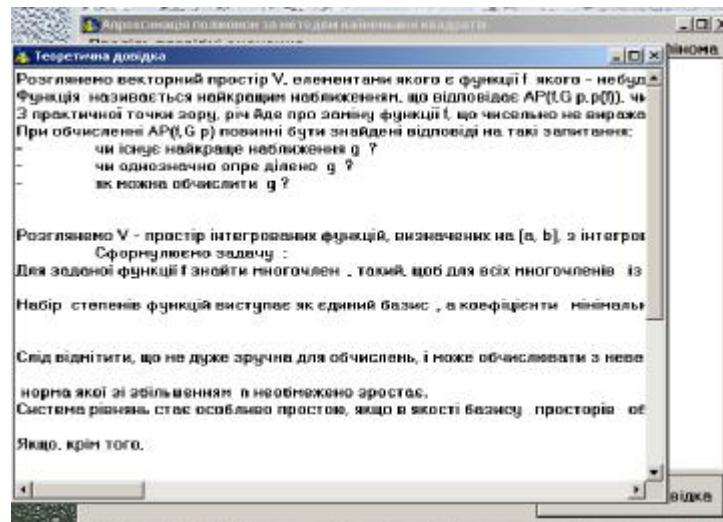


Рис. 5. Вікно довідки

Усі віконця програми зроблені на одній формі. Вони знаходяться в стані invisible до тих пір, поки не прийде черга для їх активізації. При відкритті “нового” вікна (visible), “старе” вікно стає invisible. Це забезпечує простоту програми і не вимагає переписання щоразу нової форми, що дещо прискорює обрахунки.

Представлений лістинг програми – файл Unit1.cpp та налаштування самої форми – файл Unit1.dfm. Налаштування об’єктів, які є в наданому файлі Unit1.dfm, не використовувались при написанні програми мовою C# і розробляються студентами самостійно.

<pre>Unit1.cpp //----- #include <vcl.h> #pragma hdrstop #include "Unit1.h" #include "Unit2.h" //----- #pragma package(smart_init)</pre>	<pre>g[k]=b[k]/a[k][k]; k1=k+1; for (i=k1;i<=n;i++) { b[i]=a[i][k]*g[k]; for (j1=k;j1<=n;j1++) { j=n-j1+k; c[k][j]=a[k][j]/a[k][k]; a[i][j]=a[i][k]*c[k][j];</pre>
---	--

<pre> #pragma resource "*.dfm" TForm1 *Form1; //----- __fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner) : TForm(Owner) { } //----- void __fastcall TForm1::Button4Click(TObject *Sender) { Form2->Visible=true; } //----- void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender) { h=StrToInt(Edit2->Text); i=1; Button2->Enabled=false; Edit2->Enabled=false; Panel2->Visible=true; } //----- void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender) { if (RadioButton2->Checked==true) n=StrToInt(Edit1->Text); else { e1=StrToFloat(Edit1->Text); n=1; }; Button1->Enabled=false; RadioButton1->Enabled=false; RadioButton2->Enabled=false; Edit1->Enabled=false; again: n++; for (j=0;j<=2*n-1;j++) if (j>n) d[j]=0; else {b[j]=0; d[j]=0;}; for (i=1;i<=h;i++) { r=y[i]; f=1; for (j=1;j<=2*n-1;j++) if (j>n) {d[j]+=f; f*=x[i];} else {b[j]+=r; r*=x[i]; d[j]+=f; f*=x[i];}; }; for (i=1;i<=n;i++) { k=i; for (j=1;j<=n;j++) { a[i][j]=d[k]; k++; }; }; n1=n-1; for (k=1;k<=n1;k++) { if (fabs(a[k][k])<=0) { k1=k+1; for (m=k1;m<=n;m++) if (fabs(a[m][k])!=0) for (l=1;l<=n;l++) { u=a[k][l]; a[k][l]=a[m][l]; a[m][l]=u; }; u=b[k]; b[k]=b[m]; b[m]=u; }; }; }; </pre>	<pre> }; }; m=n; z[m]=b[m]/a[m][m]; do { m--; s=0; for (l=m;l<=n-1;l++) s+=c[m][l+1]*z[l+1]; z[m]=g[m]-s; } while (m>1); e=0; for (i=1;i<=h;i++) { s=y[i]; r=1; for (j=1;j<=n;j++) { s-=r*z[j]; r*=x[i]; }; e+=s*s; }; e=sqrt(e/h); if ((RadioButton2->Checked==true)&&(e<=e1)) { Panel1->Visible=true; Edit5->Text=IntToStr(n-1); Edit6->Text=FloatToStr(e); for (i=1;i<=n;i++) { Memo1->Lines->Add("a["+IntToStr(i-1)+"] = "+FloatToStr(z[i])); }; Panel3->Visible=true; } else if (n<h) goto again; Memo1->Lines->Add("Ready"); } //----- void __fastcall TForm1::Button3Click(TObject *Sender) { if (i<=h) { x[i]=StrToFloat(Edit3->Text); y[i]=StrToFloat(Edit4->Text); i++; Label3->Caption="["+IntToStr(i)+"]"; Edit3->Text=""; Edit4->Text=""; }; if (i>h) { Panel2->Visible=false; RadioButton1->Visible=true; RadioButton2->Visible=true; Label1->Visible=true; Edit1->Visible=true; Button1->Visible=true; }; } //----- void __fastcall TForm1::Button5Click(TObject *Sender) { X=StrToFloat(Edit7->Text); q=0; for (i=n;i>=2;i--) q=(q+z[i])*X; q+=z[1]; Edit8->Text=FloatToStr(q); } //----- </pre>
---	--

Unit1.dfm object Form1: TForm1 Left = 192 Top = 114 BorderStyle = bsSingle Caption = #1040#1087#1088#1086#1082#1089#1080#1084#1072#1094#1110#1 103' #1087#1086#1083#1110#1085#1086#1084#1086#1084' #1079#1072' #1084#1077#1090#1086#1076#1086#1084' #1085#1072#1081#1084#1077#1085#1100#1096#1080#1093' #1082#1074#1072#1076#1088#1072#1090#1110#1074 ClientHeight = 450 ClientWidth = 600 Color = clBtnFace Font.Charset = DEFAULT_CHARSET	Height = 25 Caption = #1054#1050 TabOrder = 3 Visible = False OnClick = Button1Click end object Edit2: TEdit Left = 228 Top = 24 Width = 85 Height = 24 TabOrder = 4 end object Button2: TButton Left = 316
---	--

<pre> Font.Color = clWindowText Font.Height = -11 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [] OldCreateOrder = False PixelsPerInch = 96 TextHeight = 13 object Label7: TLabel Left = 424 Top = 4 Width = 164 Height = 16 Caption = '#1050#1086#1077#1092#1110#1094#1110#1077#1085#1090#1080' '#1087#1086#1083#1110#1085#1086#1084#1072' Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False end object GroupBox1: TGroupBox Left = 0 Top = 0 Width = 413 Height = 285 Caption = '#1042#1074#1077#1076#1110#1090#1100' '#1087#1086#1090#1088#1110#1073#1085#1110' '#1079#1085#1072#1095#1077#1085#1085#1103' Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False TabOrder = 0 object Label1: TLabel Left = 164 Top = 212 Width = 124 Height = 16 Caption = '#1065#1086' '#1073#1091#1076#1077' '#1079#1072#1076#1072#1085#1086:' Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False Visible = False end object Label2: TLabel Left = 8 Top = 28 Width = 219 Height = 16 Caption = '#1050#1110#1083#1100#1082#1110#1089#1090#1100' '#1074#1091#1079#1083#1110#1074' '#1110#1085#1090#1077#1088#1087#1086#1083#1103#1094#1110#111' end object Panel2: TPanel Left = 12 Top = 68 Width = 365 Height = 133 BevelOuter = bvLowered TabOrder = 6 Visible = False object Label6: TLabel Left = 16 Top = 85 Width = 41 Height = 16 Caption = 'Y[i] = ' end object Label5: TLabel Left = 16 Top = 48 Width = 40 Height = 16 Caption = 'X[i] = ' </pre>	<pre> Top = 24 Width = 75 Height = 25 Caption = '#1054#1050' TabOrder = 5 OnClick = Button2Click end object Panel1: TPanel Left = 4 Top = 288 Width = 409 Height = 85 TabOrder = 1 Visible = False object Label8: TLabel Left = 16 Top = 10 Width = 158 Height = 16 Caption = '#1057#1090#1077#1087#1110#1085#1100' '#1087#1086#1083#1110#1085#1086#1084#1072' '#1052' = ' Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False end object Label9: TLabel Left = 16 Top = 38 Width = 190 Height = 16 Caption = '#1055#1086#1093#1080#1073#1082#1072' '#1110#1085#1090#1077#1088#1087#1086#1083#1103#1094#1110#1111' '#1045' = ' Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False end object Label10: TLabel Left = 56 Top = 64 Width = 285 Height = 13 Caption = '#1071#1082#1097#1086' '#1045' '#1073#1110#1083#1100#1096#1077' '#1079#1072#1076#1072#1085#1086#1075#1086', '#1079#1073#1110#1083#1100#1096#1110#1090#1100' 'N '#1090#1072' '#1087#1086#1074#1090#1086#1088#1110#1090#1100' '#1074#1074#1086#1076'.' Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clMaroon Font.Height = -11 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [] ParentFont = False end object Edit5: TEdit Left = 176 Top = 5 Width = 57 Height = 21 ReadOnly = True TabOrder = 0 end object Edit6: TEdit Left = 204 Top = 33 Width = 189 Height = 21 ReadOnly = True TabOrder = 1 end end object Button4: TButton Left = 420 Top = 404 </pre>
---	---

<pre> end object Label4: TLabel Left = 36 Top = 12 Width = 87 Height = 16 Caption = #1110#1082#1089' #1090#1072' '#1110#1075#1088#1077#1082:' end object Label3: TLabel Left = 8 Top = 12 Width = 19 Height = 16 Caption = '[1]' end object Edit3: TEdit Left = 60 Top = 44 Width = 209 Height = 24 TabOrder = 0 end object Edit4: TEdit Left = 60 Top = 81 Width = 209 Height = 24 TabOrder = 1 end object Button3: TButton Left = 280 Top = 56 Width = 75 Height = 37 Caption = #1054#1050 TabOrder = 2 OnClick = Button3Click end end object RadioButton1: TRadioButton Left = 8 Top = 228 Width = 201 Height = 17 Cursor = crHandPoint Caption = #1055#1086#1093#1080#1073#1082#1072' '#1110#1085#1090#1077#1088#1087#1086#1083#1103#1094#1110#1 111' #1095#1080 Checked = True Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False TabOrder = 0 TabStop = True Visible = False end object RadioButton2: TRadioButton Left = 208 Top = 228 Width = 201 Height = 17 Cursor = crHandPoint Caption = #1089#1090#1077#1087#1110#1085#1100' '#1087#1086#1083#1110#1085#1086#1084#1072' (M<N)?' Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False TabOrder = 1 Visible = False end object Edit1: TEdit Left = 80 Top = 252 Width = 173 Height = 24 TabOrder = 2 </pre>	<pre> Width = 173 Height = 41 Caption = #1058#1077#1086#1088#1077#1090#1080#1095#1085#1072' '#1076#1086#1074#1110#1076#1082#1072 Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False TabOrder = 2 OnClick = Button4Click end object Panel3: TPanel Left = 4 Top = 376 Width = 409 Height = 69 TabOrder = 3 Visible = False object Label11: TLabel Left = 8 Top = 14 Width = 98 Height = 16 Caption = #1047#1085#1072#1095#1077#1085#1085#1103' '#1061' = Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False end object Label12: TLabel Left = 64 Top = 42 Width = 46 Height = 16 Caption = 'Y(X) = ' Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False end object Edit7: TEdit Left = 108 Top = 9 Width = 173 Height = 21 TabOrder = 0 end object Edit8: TEdit Left = 108 Top = 37 Width = 173 Height = 21 ReadOnly = True TabOrder = 1 end object Button5: TButton Left = 288 Top = 8 Width = 113 Height = 25 Caption = #1054#1050 Font.Charset = DEFAULT_CHARSET Font.Color = clWindowText Font.Height = -13 Font.Name = 'MS Sans Serif' Font.Style = [fsBold] ParentFont = False TabOrder = 2 OnClick = Button5Click end end object Memo1: TMemo Left = 420 Top = 20 Width = 173 </pre>
--	---

Visible = False end object Button1: TButton Left = 272 Top = 252 Width = 75	Height = 381 ReadOnly = True TabOrder = 4 end end
--	---

Отже, в процесі написання програми студенти опановують мову програмування C++, порівнюючи її з мовою C#. А також самостійно розробляють стандартні об'єкти форми.

Висновки. Після підготовки курсової роботи студенти можуть порівняти обидві мови програмування C++ та C# та самі дійти до деяких суджень, а саме: 1) в C# немає асемблера, такого ж як в C++, немає високорівневого об'єктно-орієнтованого MSIL. Отже в C# неможливо написати код, який обчислює хеш CRC32 в 4-5 рядків асемблерних команд. Його можна написати на C#, отримавши близько 45 рядків на MSIL. І поскаржитися, що при цьому виконання гальмує. І вірно. Адже навіть на C++ для цього застосовують асемблерну вставку; 2) в C# все сильно стандартизовано. Неможливо створити посилання на byte або boolean. І неможливо створити посилання на знищений об'єкт. Поки об'єкт живий, посилання буде існувати. Коли посилання не буде, то і об'єкт помре; 3) в C# виділення пам'яті відбувається за допомогою віртуальної машини. А в C++ виконується все вручну. Звичайно, якщо бінарні поля упаковані і зроблені з них об'єкти, то все буде куди компактніше ніж аналогічне в C#.

Отже, проведений ефективний аналіз дає студенту змогу зрозуміти, що C# хороший для написання дрібних програм, велика частина яких займає інтерфейс користувача, різні утиліти, навчальні завдання, АРМи, щоб дістати 3 параметра з БД. Поганий для ресурсоємних додатків, для різних промислових застосувань, де обсяг продажів малий в часі, і, на жаль, кожні 3 роки доводиться переходити на новий Windows, також існує нечітка реалізація алгоритмів в .NET. Для C++ існують величезні поклади відкритих початкових кодів по всьому Інтернету, витончені конструкції, максимально наближені до машинного коду, на будь-яку нову платформу першим ділом встановлюється C/C++ компілятор. Мінуси – при всій своїй універсальності написання користувацьких інтерфейсів досить трудомістке і болісне. Але, зрештою, все мають обрати самі студенти після своєї порівняльної, пізнавальної, самостійної діяльності.

Література

1. Вирт Н. Алгоритмы + Структуры данных = Программы / Вирт Н. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1985. – 406 с.
2. Педагогика. Большая современная энциклопедия / сост. Е. С. Рапацевич. – Минск : Соврем. слово, 2005. – 720 с.
3. Калашникова Л. М. Формирование познавательной самостоятельности студентов в процессе изучения специальных дисциплин / Л. М. Калашникова // Педагогическое образование и наука. – 2011. – № 7. – С. 82–85.
4. Гасс С. Путешествие в страну линейного программирования / Гасс С. ; пер. с англ. ; под ред. Ю.Н. Сударева. – М., 1973. – 175 с.
5. Бойко Н. І. Організація самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів в умовах застосування інформаційно-комунікаційних технологій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : спец. 13.00.04 "Теорія і методика професійної освіти" / Н. І. Бойко. – К., 2008. – 23 с.
6. Zhiyou Wu. Global optimality conditions and optimization methods for constrained polynomial programming problems / Zhiyou Wu, Jing Tian, Julien Ugon, Liang Zhang // Applied Mathematics and Computation. – 2015. – Volume 262. – P. 312–325.

Рецензія/Peer review : 8.1.2016 р. Надрукована/Printed : 25.2.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 669.1:537.5

І.М. ПАСТУХ, О.С. ЗДИБЕЛЬ

Хмельницький національний університет

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Викладено методику створення моделей реальних процесів на основі масивів експериментальних даних різного типу. Проведена класифікація баз даних експериментів за критерієм підпорядкованості вхідних параметрів. Наведено алгоритми та аналітичний апарат для обробки експериментальних даних з метою отримання аналітичної моделі процесу. Проаналізовано методики за критерієм точності кінцевих результатів, отриманих внаслідок практичного використання моделі. Запропонована концепція автономного базису як основи для створення та аналізу моделі модифікаційного процесу.

Ключові слова: моделювання процесів, експериментальні дані, обробка результатів експериментів.

I.M. PASTUKH, O.S. ZDYBEL

Khmelnytsky National University

THE FORMATION OF PROCESS MODELS BASED ON EXPERIMENTAL DATA

The technique of creating of physical processes models based on various types of experimental data. The classification of experiments databases on the criterion of input parameters subordination is done. The algorithms and analytical apparatus for experimental data processing to obtain analytical model process are offered. The methods were analyzed for accuracy criterion of results derived from practical use of the model. The concept of autonomous basis as the basis for the creation and analysis of model modification process was proposed. Basis is a process model, which indirectly reflected the whole range of parameters of the real experiment. Autonomous basis is based on impact factors, one of which later appointed as major one. The complex of relationships between major factor and results of the modification generates the common process model that can be used to solve the problems of forecasting results of the modification and optimization of technological regime.

Keywords: modelling, experimental data, processing of experimental results.

Вступ

Традиційні методи обробки даних, отриманих в результаті експериментальних досліджень, часто зводяться тільки до аналізу статистичних показників, котрі підтверджують або спростовують їхню достовірність. Проте для подальшого практичного використання масиву даних необхідно обробити їх з метою створення на їх базі певної моделі процесу. При цьому надзвичайно важливо забезпечити якомога точніше відображення в моделі процесу експериментальних даних, котрі слугували основою при формуванні цієї моделі. Очевидно, чим точніша відповідність між даними, розрахованими за цією моделлю, тим ефективніше в подальшому практичне застосування моделі для подальших досліджень процесу. Природа тих чи інших досліджень зумовлює ієрархію масивів експериментальних даних, відповідно до якої вибирається методика створення моделі досліджуваного процесу. Зі створенням достатньо точної моделі явища, процесу відкривається шлях для автоматизованого проектування технологій, оскільки в цьому випадку відпадає необхідність додаткових досліджень, що суттєво, окрім інших аспектів, знижує вартість процесу наукових пошуків. При цьому слід враховувати ту обставину, що в будь-яких дослідженнях, котрі проводяться як на теоретичному, так і на емпіричному рівнях пізнання важливий системний підхід до явища, процесу, системи, котрі вивчаються. Саме системний підхід підвищує ефективність досліджень та надійність отриманих результатів. Слід також звернути увагу на ту обставину, що будь-яке більш-менш складне досліджуване явище, процес за своєю природою є багатофакторною системою, в якій модель кінцевих показників залежить практично від усіх вхідних параметрів. Чим точніше будуть враховані в ідеалі всі вхідні характеристики при створенні кінцевої моделі процесу, тим ефективнішим буде подальше практичне застосування результатів досліджень.

Аналіз джерел за темою дослідження

Найбільш застосовуваним в практиці наукових досліджень є метод планування експериментів [1-8]. Головною проблемою при цьому є встановлення виду функції відгуку. Дійсно, вибір цієї функції як правило у вигляді полінома певного ступеня проблематично апіорі, оскільки від вдалості цієї процедури першочергово залежить точність відображення реального процесу за допомогою тієї чи іншої моделі. Крім того, не всі процеси можуть бути з достатньо високою точністю відображені за допомогою поліноміальної залежності. Нарешті, ще одним, причому первинної важливості, недоліком є те, що багатофакторні моделі не можуть з достатньою точністю відображати по всьому об'єму експериментальних даних реальні процеси. Пов'язано це з тим, що довільна залежність, яка в більшості випадків є просторовою фігурою, не може по всьому ареалу значень співпадати з результатами вимірювань з допустимим відхиленням. З цієї причини отримані залежності можливо використовувати без негативного впливу на точність тільки в певній обмеженій області, причому довільне розширення її, як правило, призводить до безконтрольного відхилення

теоретичної моделі від реального процесу. З цієї причини, як правило, подібні моделі повинні регламентуватись в аспекті допустимого ареалу їх застосування.

З метою позбавлення вказаних недоліків розроблена методика обробки даних багатофакторних моделей, теоретично – з будь-якою кількістю вхідних параметрів [9]. Суть методики полягає в послідовному виключенні впливу окремих факторів, що формують багатофакторну модель. Оскільки при виключенні кожного окремого фактора є можливість варіацій в широких межах виду функції взаємозалежності, то в результаті стає можливим отримання моделей, які з високою точністю відображають процес (реально відхилення не перевищує 4 % по всій області досліджуваного явища).

За своєю структурою експериментальні дані можуть бути впорядкованими та невпорядкованими. Принципова різниця між ними полягає в тому, що впорядковані експериментальні дані формуються за єдиною ієрархією, якої дотримуються по всій області дослідження. Невпорядковані дані в межах одного експерименту взаємопов'язані, але однотипність взаємозв'язків між окремими експериментами не витримується. Відповідно до цього методика формування кінцевих моделей суттєво відрізняється.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка методики формування моделі процесів на основі довільного масиву експериментальних даних.

Виклад основного матеріалу

Як зазначалось вище, для впорядкованих експериментальних даних характерно те, що в усьому їх масиві всі фактори впливу змінюються однаково, тобто в будь-якому експерименті комбінація вхідних параметрів вибирається з певного встановленого наперед масиву. Структурна схема впорядкованого масиву експериментальних даних показана на рис. 1.

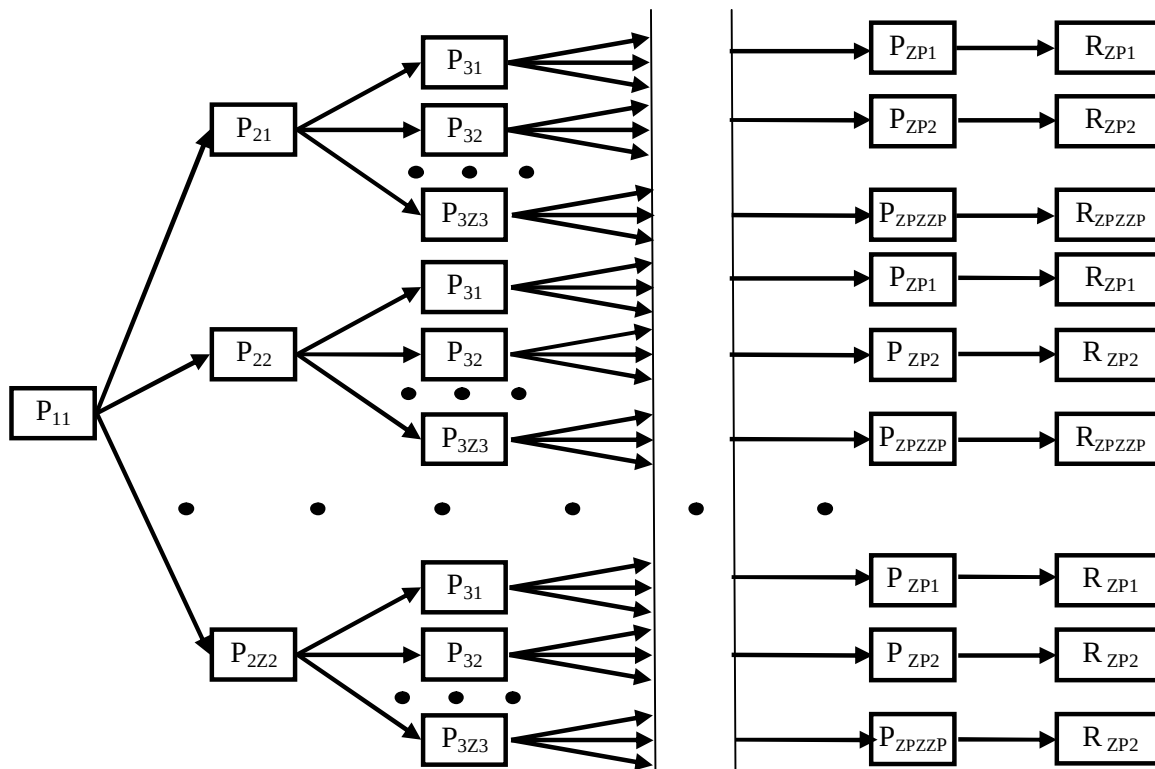


Рис. 1. Структурна схема впорядкованого масиву експериментальних даних

З рис. 1 слідує, що кінцевий результат експерименту R залежить від вхідних параметрів, проте ці характеристики вибираються з певних рядів значень. Очевидно, що матеріал для наступного дослідження достатньо об'ємний, інформативний, може оброблятися за єдиними правилами та методиками, охоплює практично весь можливий ареал досліджуваного явища і, як результат – дає можливість сформувати достовірну та точну модель процесу. Але недоліком вказаної методики в першу чергу є значний об'єм експериментальних досліджень, оскільки всі вхідні параметри повинні циклічно повторюватись.

Методика обробки впорядкованих масивів експериментальних даних зводиться до задачі формування багатофакторної моделі процесу, в основі якої лежить принцип послідовного виключення вихідних факторів. Детально ця методика викладена в [9–11]. В найбільш стислій формі вона має вигляд [10]. Складність моделі в остаточному вигляді у значній мірі залежить від складності залежностей, котрі використовуються в процесі виключення факторів впливу. Проте з іншої сторони чим менше спрощень в проміжних фазах виключення факторів впливу, тим точнішою в остаточному варіанті є модель $M(f_1, f_2 \dots f_z)$.

Для прикладу, якщо в самих початкових фазах виключення факторів впливу користуватись переважно лінійними залежностями (поліном першого ступеню), то кількість коефіцієнтів для наступного дослідження впливу буде мінімальною, але загальна відповідність моделі та експериментальних даних стає проблематичною. Більш детально з врахуванням практичної методики застосування методу матеріал викладено в [9–11].

$$\begin{aligned}
 M(f_1, f_2 \dots f_z) &= a_0 + a_1 f_1 + a_2 f_1^2 + \dots + a_n f_1^n \\
 a_0(f_2, f_3 \dots f_z) &= b_{00} + b_{01} f_2 + b_{02} f_2^2 + \dots + b_{0m0} f_2^{m0} \\
 a_1(f_2, f_3 \dots f_z) &= b_{10} + b_{11} f_2 + b_{12} f_2^2 + \dots + b_{1m1} f_2^{m1} \\
 &\dots \\
 a_n(f_2, f_3 \dots f_z) &= b_{n0} + b_{n1} f_2 + b_{n2} f_2^2 + \dots + b_{nmn} f_2^{mn} \\
 b_{00}(f_3, f_4 \dots f_z) &= c_{00} + c_{01} f_3 + c_{02} f_3^2 + \dots + c_{0r0} f_3^{r0} \\
 b_{01}(f_3, f_4 \dots f_z) &= c_{10} + c_{11} f_3 + c_{12} f_3^2 + \dots + c_{0r1} f_3^{r1} \\
 &\dots \\
 b_{nmn}(f_3, f_4 \dots f_z) &= c_{n0} + c_{n1} f_3 + c_{n2} f_3^2 + \dots + c_{nrn} f_3^{rn} \\
 &\dots \\
 v_{00}(f_z) &= u_{00} + u_{01} f_z + u_{02} f_z^2 + \dots + u_{0q0} f_z^{q0} \\
 v_{01}(f_z) &= u_{10} + u_{11} f_z + u_{12} f_z^2 + \dots + u_{1q1} f_z^{q1} \\
 &\dots \\
 v_{pqp}(f_z) &= u_{p10} + u_{p1} f_z + u_{p2} f_z^2 + \dots + u_{pqp} f_z^{qp},
 \end{aligned}$$

де $M(f_1, f_2, \dots, f_z)$ – модель процесу,
 $a, b, c, \dots, v, u$ – коефіцієнти системи рівнянь,
 $n, m0, m1, \dots, mn, r0, r1, \dots, rn, p, q0, q1, \dots, qp$ – порядок рівнянь, які визначають параметри моделі в цілому та складові коефіцієнти.

Особливістю невпорядкованого масиву експериментальних даних є те, що в принципі в кожному експерименті значення параметрів можуть бути різними. Ця теза необов'язкова для повного дотримання, тобто можливий варіант, коли в деяких експериментах деякі вхідні параметри можуть повторюватись та співпадати, але це входить в коло обов'язкових умов. Таким чином, в самому загальному вигляді невпорядкований масив експериментальних даних може включати вхідні параметри, які ні в одному експерименті не повторюються. Структурна схема невпорядкованого масиву експериментальних даних показана на рис. 2.

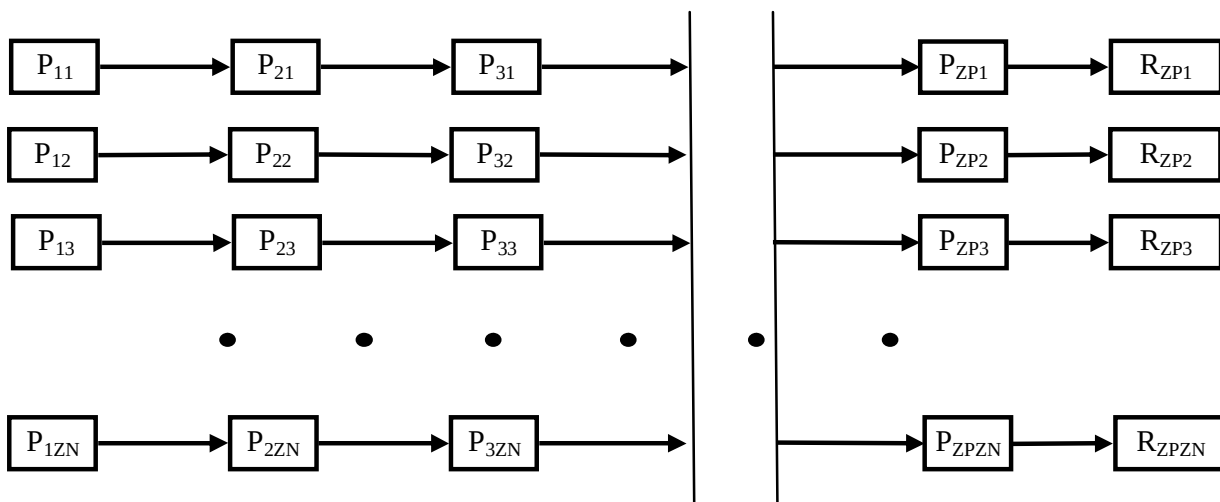


Рис. 2. Структурна схема невпорядкованого масиву експериментальних даних

В принциповому плані подальша обробка результатів експериментів з невпорядкованими даними повинна зводитись до формування моделі шляхом послідовного встановлення залежностей між вхідними параметрами, тобто:

$$M(P_1, P_2 \dots P_{ZN}) = f_{ZN}(f_{ZN-1}(\dots(f_2(f_1)))) \quad (1)$$

де $f_1, f_2, \dots, f_{ZN}$ – функції зв'язку між параметрами експериментів в послідовності формування структури даних (рис. 2).

Проте простота методу, відображеного формулою (1), ефемерна, оскільки на практиці система послідовних залежностей швидко ускладнюється, що в реальності призводить до отримання громіздких виразів, котрі не піддаються практичному використанню. Ще одним принциповим недоліком оперування неупорядкованими масивами експериментальних даних є те, що не завжди (а скоріше – навпаки) комбінація вихідних даних може бути практично реалізованою. Іншими словами – практично завжди довільно сформована комбінація вхідних параметрів експерименту не може бути реалізованою (наприклад – при довільній комбінації параметрів режиму один з них, або навіть декілька стають в умовах експерименту нереалізованими).

Одним з виходів з подібної ситуації може бути застосування принципу автономного базису. Базис – це модель процесу, в якій опосередковано відображена вся номенклатура параметрів реального експерименту. Таким чином, базис формується з використанням показників, які комплексно відображають умови перебігу процесу. Принцип автономності полягає в тому, що будь-яка довільно вибрана з базису комбінація показників автоматично може бути реалізованою в повному комплексі.

Оскільки процес азотування в тліючому розряді в найбільш узагальненому вигляді є сукупністю нероз'ємних, взаємодоповнюючих та конкуруючих субпроцесів: утворення нітридів, дифузії азоту в глибину поверхневого шару та його розпорошення, то виходячи з енергетичних принципів моделі процесу в якості показників базису доцільно приймати саме енергетичні характеристики процесу – відносні енергетичні фактори відповідних субпроцесів. Дійсно, при цьому автоматично будуть враховані всі параметри технологічного режиму, а число вхідних величин базису зведеться до трьох. Приклад подібного базису наведено на рис. 3 (на осях відкладені значення відносних енергетичних факторів утворення нітридів, розпорошення поверхні та дифузії азоту в глибину поверхневого шару).

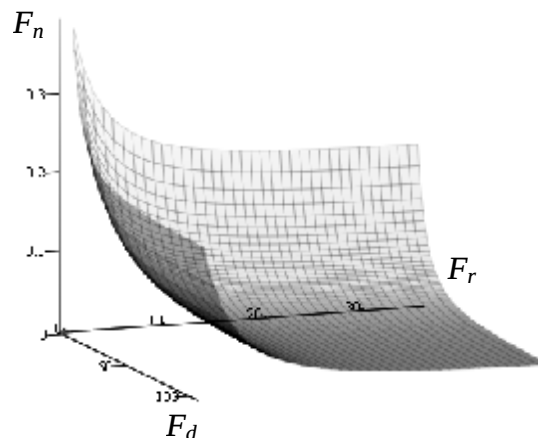


Рис. 3. Приклад автономного базису

Згідно з принципом автономності будь-яка точка на поверхні автономного базису відповідає умовам експерименту, які можуть бути реалізованими.

Подальше використання автономного базису реалізується в наступній послідовності. Рівняння поверхні базису може бути вирішене стосовно будь-якого з факторів, які його формують. Цей фактор призначається головним. В подальшому встановлюється аналітичний зв'язок між результатами модифікації (наприклад, товщиною нітридної зони, загальною товщиною модифікованого шару, градієнтом твердості по глибині поверхневого шару, твердістю поверхні тощо) та головним фактором базису, що і становитиме модель процесу.

Загальна структура оперування моделлю процесу показана на рис. 4.

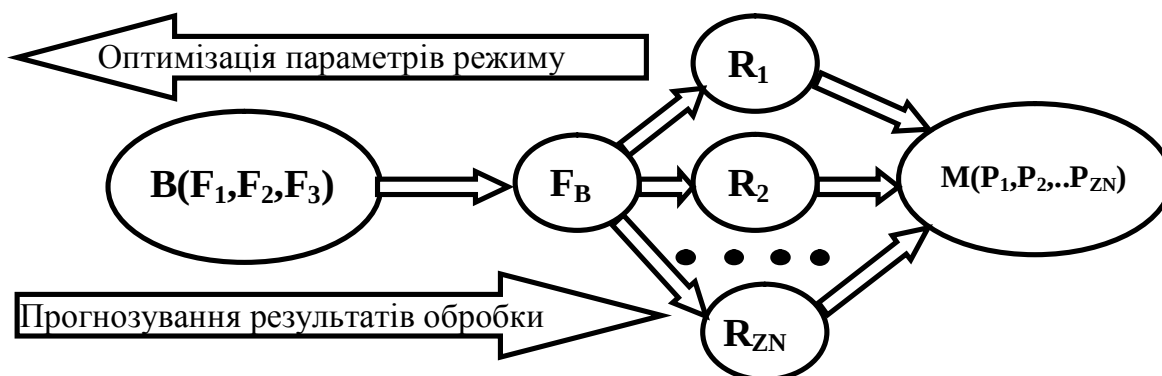


Рис. 4. Загальна схема формування моделі процесу з використанням автономного базису

Основу її становить автономний базис $B(F_1, F_2, F_3)$, сформований на основі факторів впливу F_1, F_2, F_3 , один з яких в подальшому призначається головним F_B . Сукупність залежностей між головним фактором та результатами модифікації і формує загальну модель процесу, яка може застосовуватись для вирішення задач прогнозування результатів обробки та оберненої до неї – оптимізації параметрів технологічного режиму.

Висновки

Запропонована методика формування моделі азотування в тліючому розряді з використанням концепції автономного базису.

Література

1. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М. : Металлургия, 1969. – 158 с.
2. Бородюк В. П. Статистическое описание промышленных объектов / В. П. Бородюк, Э. К. Лецкий. – М. : Наука, 1971. – 186 с.
3. Бродский В. З. Введение в факторное планирование эксперимента / В. З. Бродский. – М. : Наука, 1976. – 223 с.
4. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – К. : Техніка, 1975. – 168 с.
5. Египко В. М. Вопросы теории проектирования систем автоматизации экспериментов / В. М. Египко, И. А. Погосян. – К. : Наукова Думка, 1973. – 114 с.
6. Математические методы планирования эксперимента / под. ред. В. В. Пененко. – Новосибирск, 1981. – 255 с.
7. Налимов В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М. : Наука, 1971. – 208 с.
8. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшинский. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
9. Пастух І. М. Методика обробки даних багатофакторних моделей / І. М. Пастух // Вісник ТУП. – 2002. – № 6. – С. 42–46.
10. Пастух І. М. Особливості технології моделювання багатофакторних залежностей / І. М. Пастух // Проблеми трибології. – 2004. – № 1. – С. 97–101.
11. Пастух І. М. Концепція досліджень зносостійкості металевих деталей, азотованих в тліючому розряді з автономними параметрами / І. М. Пастух, Г. М. Соколова. – Проблеми трибології. – 2015. – № 2. – С. 69–73.

Рецензія/Peer review : 11.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 10.2.2016 р.
Рецензент: прорецензовано редколегією

ВИКОРИСТАННЯ ТОЧОК РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ ДЛЯ СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ ДВОКРИВОШИПНИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ

В роботі розглядається питання синтезу важільних двокривошипних прямолінійно-напрямних механізмів та побудованих на їх основі механізмів із зупинкою вихідної ланки методами кінематичної геометрії, зокрема з використанням особливих точок шатунної площини – точок розпрямлення 5-го порядку. Як показано, використання таких механізмів має ряд переваг, зокрема встановлено, що використання точок розпрямлення 5-го порядку для синтезу двокривошипних механізмів дозволяє отримати механізми з тривалішими ділянками наближення порівняно з використанням інших методів синтезу.

Ключові слова: прямолінійно-напрямні механізми, синтез, двокривошипні механізми, кінематична геометрія, точки розпрямлення 5-го порядку.

V.O. KHARZHEVSKYI
Khmelnytskyi National University

THE USAGE OF THE 5TH ORDER STRAIGHTENING POINTS FOR THE SYNTHESIS OF LINKAGE DOUBLE-CRANK MECHANISMS WITH DWELL OF AN OUTPUT LINK

Abstract – The article is dedicated to the synthesis of the straight-line linkage mechanisms on the basis on four-bar linkage. These mechanisms are widely used in different branches of machinery where straight line path generating is required. Besides, those mechanisms can be used as basic mechanisms for the designing of dwell linkages. It is known that linkage mechanisms have a number of advantages in comparison with the other types of mechanisms, for example cam mechanisms. One of the type of the four-bar linkage is double-crank linkage. As shown in the article, methods of the kinematic differential geometry can also be used to design straight-line linkages on their basis. The synthesis of mentioned mechanisms was done by using of the special points on the coupler plane – 5th order straightening points. As shown, the usage of such mechanisms has a number of advantages: in particular it allows synthesizing of the mechanisms with larger dwells of an output link.

Keywords: straight-line mechanisms, synthesis, double-crank mechanisms, kinematic differential geometry, 5th order straightening points.

При проектуванні сучасних машин, в різних галузях машинобудування виникає задача створення циклових механізмів, які б забезпечували періодичну зупинку вихідної ланки під час неперервного обертального руху вхідної ланки. Тобто задача полягає у проектуванні механізму, вихідна ланка якого здійснювала б періодичну зупинку певної тривалості в одному з крайніх положень або всередині ходу. Приклади відповідних законів руху показано на рис. 1, кінематична схема одного з можливих механізмів – на рис. 2. Очевидно, що для забезпечення таких законів руху можуть використовуватись різні типи механізмів, зокрема кулачкові та мальтійські механізми, механізми неповнозубих коліс тощо. Однак при певному співвідношенні розмірів ланок, ця задача, як відомо, може бути розв'язана за допомогою важільних механізмів, використання яких має ряд важливих переваг завдяки відсутності вищих кінематичних пар та наявності геометричного замикання ланок.

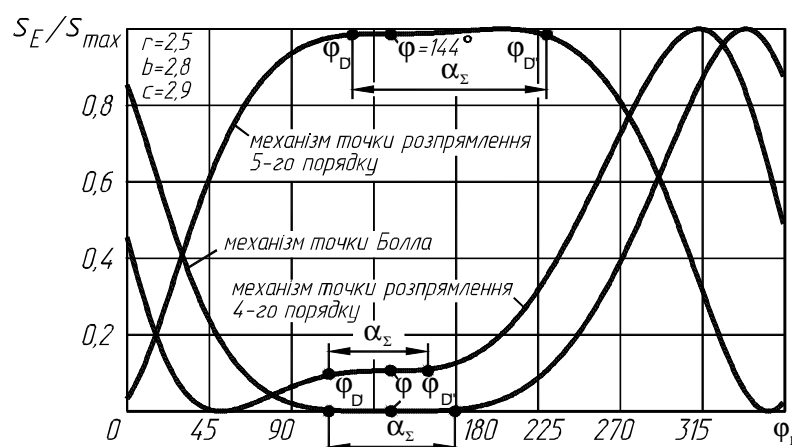


Рис. 1. Приклади законів руху вихідних ланок важільних механізмів, що синтезовані з використанням методів кінематичної геометрії

Відомо [1–3], що важільні механізми характеризуються більшою надійністю, довговічністю, більшою навантажувальною здатністю, а також можливістю забезпечення більших робочих швидкостей, що особливо важливо при проектуванні сучасної техніки, зокрема машин-автоматів.

Як відомо [1-3], існує два напрямки у синтезі важільних напрямних механізмів: алгебраїчні методи Чебишева, що базуються на теорії найкращого наближення функцій та методи кінематичної геометрії, започатковані німецькою науковою школою на чолі з Бурместером. Методи Чебишева знайшли подальший розвиток в роботах Блоха, Кіницького [2], Саркісяна, Гассманна [5]. Ідеї Бурместера отримали розвиток у ряді наукових робіт, зокрема, Бейера, Ліхтенхельдта, Мюллера. Крім того, існує ряд сучасних робіт, присвячених розвитку цього напрямку, зокрема слід відмітити роботи Уанга [8], Іна, Хана [7], МакКарті [6], а також багато інших.



Як відомо, відповідно до теореми Грасгофа, існує три конфігурації шарнірного чотириланкового

механізму: кривошипно-коромисловий, двокривошипний та двокоромисловий [1–3]. В даній роботі розглянемо синтез важільних двокривошипних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку. Зазначені особливі точки шатунної площини були знайдені автором, відповідна теорія синтезу механізмів з використанням таких точок описана в роботі [4]. Причому, точки Болла, точки розпрямлення 4-го порядку та точки розпрямлення 5-го порядку можна знайти в будь-якому положенні механізму. Тоді, з'єднавши точки, знайдені для різних положень, отримаємо відповідні криві: криву Болла, криву точок розпрямлення 4-го порядку та криву точок розпрямлення 5-го порядку, які для випадку базового двокривошипного механізму будуть мати вигляд як показано на рис. 3.

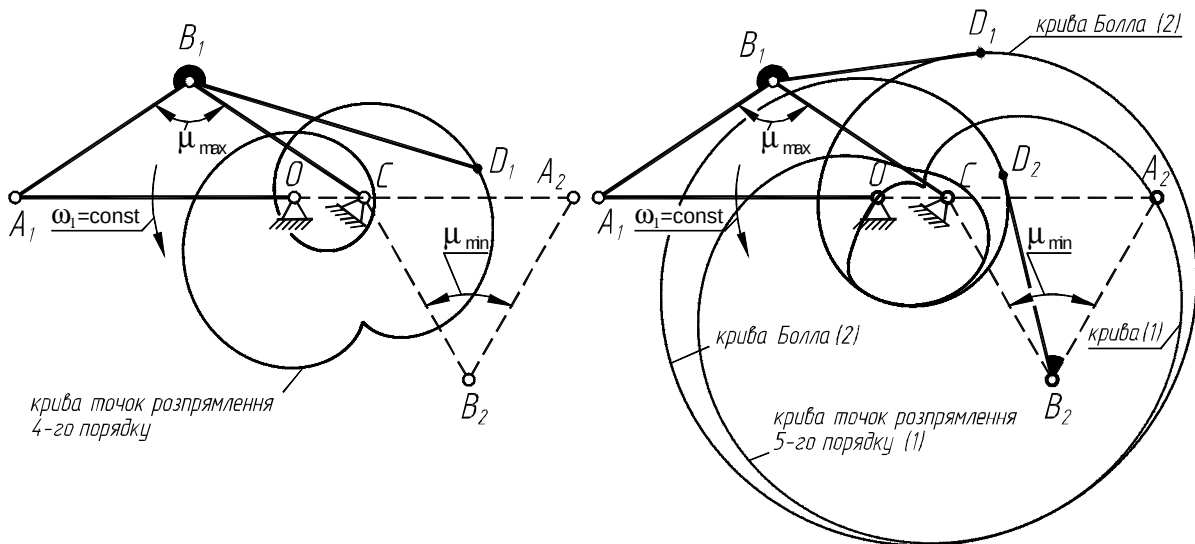


Рис. 3. Геометричне місце особливих точок шатунної площини двокривошипного шарнірного чотириланкового механізму: крива Болла та криві точок розпрямлення 4-го та 5-го порядків

В роботі [3] зазначено, що використання двокривошипного шарнірного чотириланкового механізму як базового при проектуванні механізмів із зупинкою вихідної ланки має ряд переваг, зокрема дозволяє забезпечити значно більші величини максимального ходу вихідної ланки, а оскільки ця величина в багатьох випадках задається конструктором при проектуванні, використання двокривошипних механізмів, що мають значно більшу величину цього ходу, ніж кривошипно-коромислові, дозволяє проектувати механізми з меншими габаритними розмірами, а значить з меншими масою, силами інерції та реакціями у кінематичних парах.

Крім того, як видно з рис. 3, криві, що визначають положення особливих точок шатунної площини, на відміну від кривошипно-коромислових механізмів, не мають віток, що прямують у нескінченність, що дозволяє для двокривошипних механізмів уникнути отримання неконструктивних (тобто дуже великих) розмірів ланок.

В основі важільного шестиланкового механізму, зображеного на рис. 2, лежить двокривошипний шарнірний чотириланковий механізм $OABC$, його шатунна точка D описує деяку криву, форма якої буде залежати від параметрів базового механізму, а саме: довжин ланок кривошипа $r = l_{OA}$, шатуна $b = l_{AB}$, коромисла $c = l_{BC}$, а також від положення точки D , що визначається довжиною другого плеча шатуна $k = l_{BD}$ та кутом його злому Ω . При проведенні розрахунків, відповідно до рекомендацій [1], приймаємо відстань між осями нерухомих шарнірів $d = l_{OC}$ сталою і рівною одиниці, оскільки отримати механізми з іншими величинами міжосьової відстані завжди можна за допомогою пропорційної зміни інших розмірів базового механізму. При дослідженні механізмів рух точки будемо представляти у параметричній формі:

$$x_D = x_D(\varphi_1); y_D = y_D(\varphi_1), \quad (1)$$

де φ_1 – параметр (узагальнена координата), що в даному випадку є кутом повороту кривошипа (змінюється в межах від 0 до 2π). За шатунні точки приймалися точки розпрямлення 5-го порядку, визначені за методикою синтезу, описаною автором у [4]. В результаті проведених розрахунків були визначені геометричні параметри таких механізмів, зокрема положення шатунних точок D , які визначаються довжиною k другого плеча шатуна та кутом його злому Ω (рис. 4,5).

Точки розпрямлення 5-го порядку, які приймаються за шатунні точки механізму, визначаються для кожного положення як точки перетину поворотного кола з кривою геометричного місця точок, що мають дотик 5-го порядку зі своїм колом кривизни. Рівняння поворотного кола в неявному вигляді [1]:

$$\omega^2 (x^2 + y^2) - (x_0''x + y_0''y) = 0, \quad (2)$$

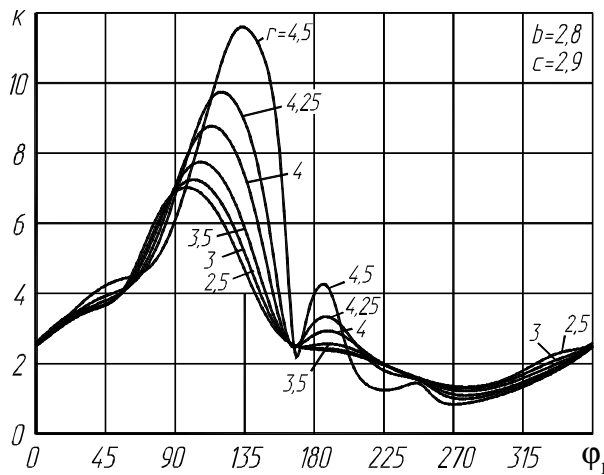


Рис. 4. Діаграма зміни відстані до шатунної точки механізму ($k = l_{BD}$)

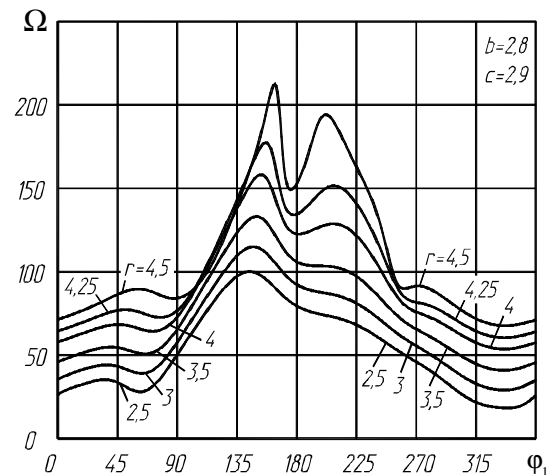


Рис. 5. Діаграма зміни кута злomu шатуна ABD механізму

де ω – кутова швидкість обертання шатунної площини, яка при проведенні синтезу, відповідно до рекомендацій [1] приймається сталою та рівною одиниці; x_0'', y_0'' – прискорення полюса P миттєвого обертання шатунної площини механізму. Рівняння кривої геометричного місця точок з дотиком 5-го порядку [4]:

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

де коефіцієнти n_1, n_2, n_3 та n_4 , що входять у (3) визначаються наступним чином [4]:

$$\begin{aligned} n_1 &= (\omega^3 - \omega^3) y_0'' - 3\omega^2 x_0'' + \omega y_0''' - \omega^2 x_0'''; \quad n_3 = 3\omega^3 (\omega^3 - \omega^3); \\ n_2 &= (\omega^3 - \omega^3) x_0'' + 3\omega^2 y_0'' + \omega x_0''' + \omega^2 y_0'''; \quad n_4 = x_0'' x_0''' + y_0'' y_0'''. \end{aligned} \quad (4)$$

При проведенні синтезу важливих механізмів важливим питанням є визначення екстремальних значень кутів передачі $\mu_{\max}$ та $\mu_{\min}$ (див. рис. 3), значення яких, відповідно до рекомендацій [1,2] повинні знаходитись у межах $30^\circ \leq \mu \leq 150^\circ$. Як відомо [1], у шарнірному чотириланковому механізмі екстремальні значення кутів передачі спостерігаються тоді, коли кривошип OA збігається з напрямом стояка $a = l_{OC}$, довжину якого прийнято за одиницю (див. рис. 2). В цьому випадку значення кутів передачі [1]:

$$\cos \mu_{\min} = \frac{b^2 + c^2 - (1-r)^2}{2bc}; \quad \cos \mu_{\max} = \frac{b^2 + c^2 - (1+r)^2}{2bc}. \quad (5)$$

Зазначимо, що в процесі проведення розрахунків перевірялась умова, щоби кути передачі у базових двокривошипних механізмах, що розглядаються в даній роботі, знаходились у допустимих межах.

Важливою задачею при проведенні синтезу важливих напрямних механізмів та побудованих на їх основі механізмів із зупинкою вихідної ланки є визначення величини ділянки наближення та відповідно тривалості зупинки вихідної ланки. Для цього можна використати числовий метод, розроблений автором та описаний в роботі [3]. Таким чином, в результаті проведених досліджень отримані наступні результати (рис. 6).

Підчас проведення розрахунків, так само, як і в роботі [3], досліджувались лише ті механізми, що забезпечують зупинку вихідної ланки лише в одному з крайніх положень. Механізми, що забезпечують зупинку всередині ходу, будуть розглянуті в іншій роботі. Як зазначено у [3], якщо за допомогою точок Болла можна отримати механізми із зупинкою в крайньому положенні, то за допомогою точок розпрямлення 4-го порядку – лише всередині ходу. В результаті проведених досліджень встановлено, що при проведенні синтезу двокривошипних механізмів за допомогою точок розпрямлення 5-го порядку можна забезпечити як перший, так і другий варіант закону руху вихідної ланки (див. рис. 1). Причому якщо порівняти механізми, синтезовані за допомогою точок Болла з механізмами, отриманими з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, то можна відмітити, що останні забезпечують більшу тривалість зупинки, як показано на рис. 8.

В роботі [3] зазначається, що поряд з перевагами використання двокривошипних механізмів порівняно з кривошипно-коромисловими, існує недолік, який полягає у неможливості забезпечення тривалих зупинок в одному з крайніх положень (зокрема, при проведенні синтезу з використанням точок Болла). Таким чином, як видно з рис. 6, 8, двокривошипні механізми, синтезовані з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, не мають цього недоліку – є можливість забезпечення зупинки вихідної ланки більшої тривалості у діапазоні різних довжин ланок базового двокривошипного шарнірного чотириланкового механізму.

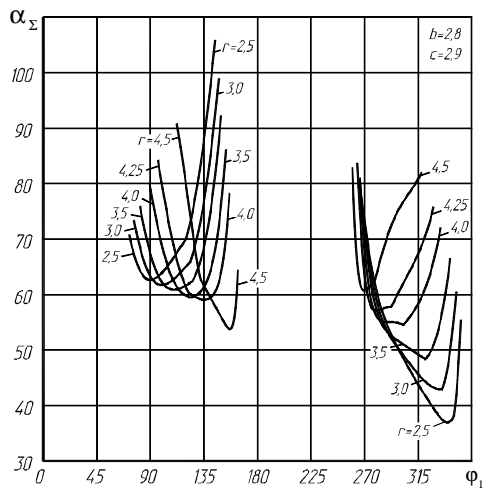


Рис. 6. Діаграма зміни тривалості зупинки вихідної ланки механізму

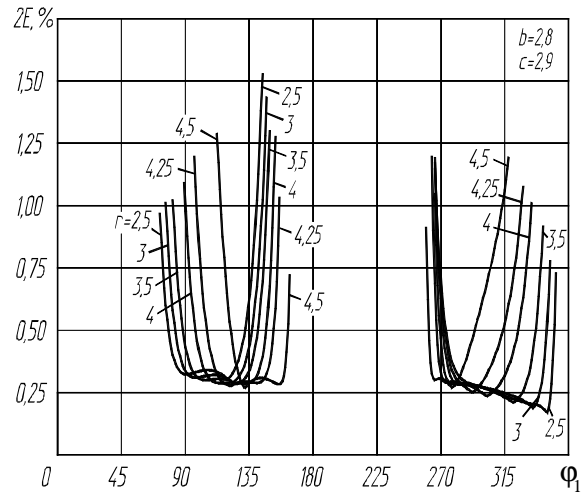


Рис. 7. Діаграма зміни точності наближення до прямої лінії та відповідно зупинки вихідної ланки

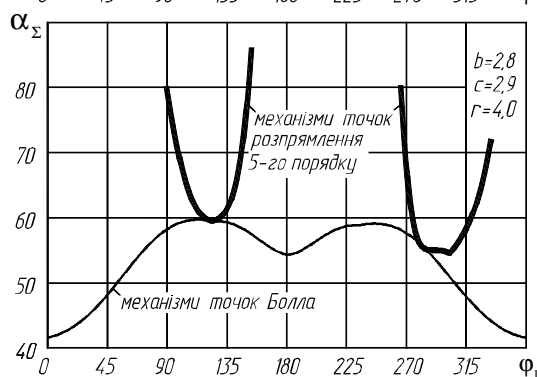
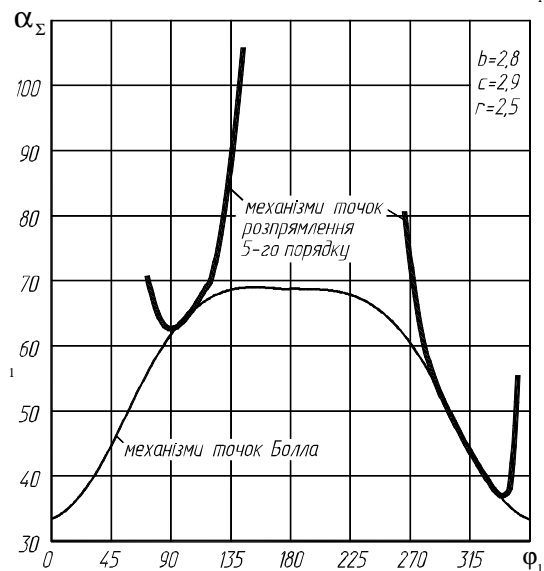
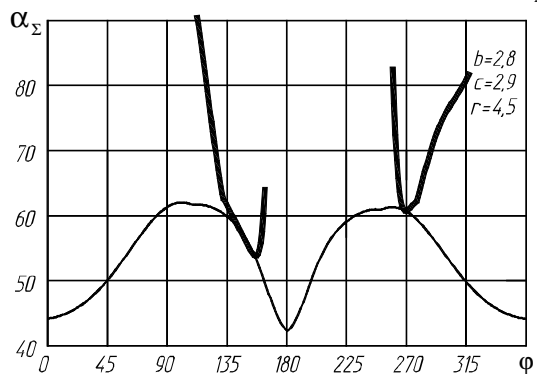
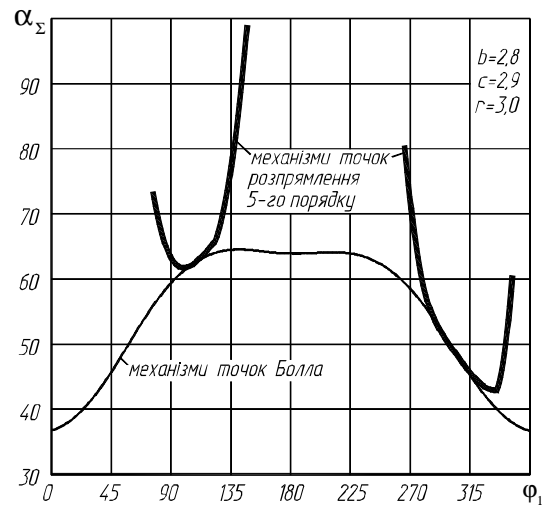
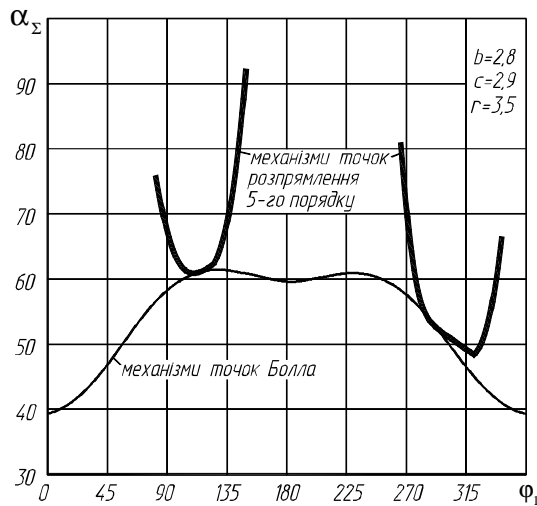


Рис. 8. Порівняння тривалостей зупинок, що забезпечують механізми, побудовані на основі точок Болла та механізми, що синтезовані на базі точок розпрямлення 5-го порядку

На рис. 7 показано діаграму зміни точності наближення ділянки шатунної кривої до прямої лінії та відповідно точності зупинки вихідної ланки у шестиланковому механізмі. Очевидно, що зі збільшенням тривалості зупинки, величина відхилення від прямої лінії також збільшується, але є достатньою для практичного використання (діаграма переміщень, де відхилення є одним із найбільших, показана на рис. 1).

На рис. 9 показані діаграми максимального ходу вихідної ланки для шестиланкових механізмів, що побудовані на базі двокривошипних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, для порівняння наведені також аналогічні діаграми для механізмів, синтезованих з використанням точок Болла (дослідження яких проводилось автором в роботі [3]). З наведених діаграм видно, що використання точок розпрямлення 5-го порядку дозволяє також отримати значні величини максимального ходу, що дозволяє при заданій його величині отримати механізми невеликих габаритів.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що точки розпрямлення 5-го порядку можуть успішно використовуватись для проведення синтезу важільних механізмів на базі двокривошипних механізмів, при цьому, на відміну від точок розпрямлення 4-го порядку, забезпечувати зупинку в одному з крайніх положень механізму, а на відміну від точок Болла – більші величини тривалостей зупинок.

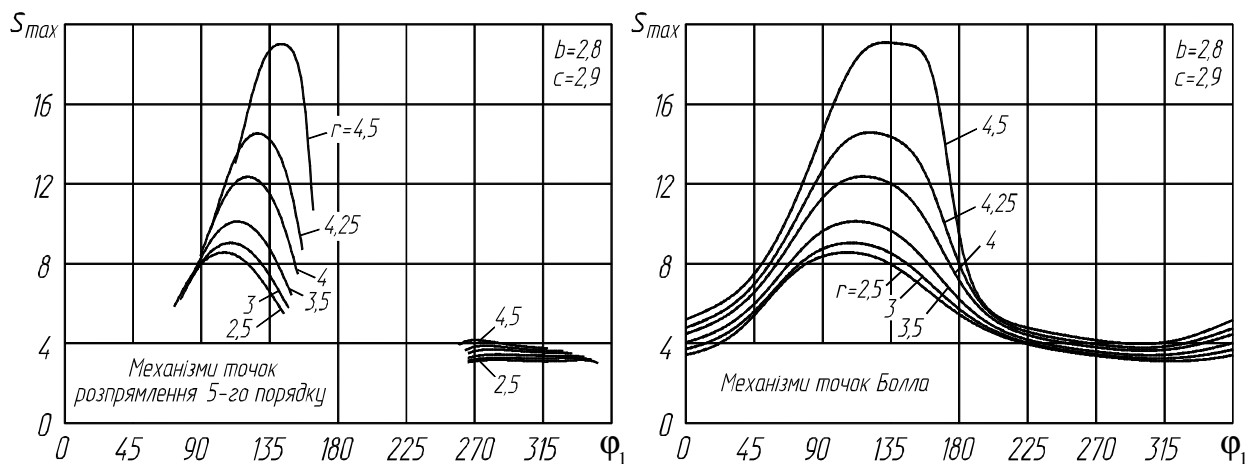


Рис. 9. Діаграми зміни максимального ходу вихідної ланки механізмів, побудованих на базі точок розпрямлення 5-го порядку та точок Болла

Дослідження планується продовжити в напрямку визначення основних кінематичних та кінестатичних характеристик таких механізмів, а також меж їх існування з метою проведення оптимізаційного синтезу за різними критеріями.

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. – 2015. – № 5. – С. 62–67.
5. Gassmann V. Synthese von Geradföhrungen mit ebenen Viereckgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.
6. McCarthy, J., Geometric Design of Linkages, 2nd edition / McCarthy J., Soh G., Springer-Verlag, New York, 2011. – 448 p.
7. 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.
8. 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 : 18.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 10.2.2016 р.

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

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КАНАТНИХ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МУФТИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ

В статті розглянуто вплив на навантаження канатів муфти з торцевою установкою канатів деяких її компоновальних параметрів. Результати досліджень дозволили вперше встановити вплив кута монтажного зміщення напівмуфт на навантаження канатів. Отримано вираз для визначення оптимального кута монтажного зміщення напівмуфт, забезпечення якого дозволяє зменшити натяг канатів муфти до мінімуму.

Ключові слова: муфта, канат, колова сила, момент, навантаження.

V.O. PROCENKO, O.YU. KLEMENTYEVA
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

ENSURE MINIMAL LOADING ROPE ELASTIC ELEMENT COUPLING AT PROJECTING

In the article the impact load rope couplings with face installation ropes layout some of its parameters. The research results allowed to determine the effect of the first mounting angle offset half-coupling to the rope load. Found that when the angle of 10° to about 50° rope tension strength decreases from 7500 N to 3500 N, or in 2.15 times. An expression to determine the optimal mounting angle offset half-coupling, which allows software to reduce tension rope couplings to a minimum. The results form the conditions for the development of sustainable design techniques of coupling with rope elastic elements.

Keywords: coupling, rope, enviroing force, torque, load.

Постановка проблеми у загальному виді і її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами. Раціональне проектування виробів машинобудування дозволяє суттєво підвищити їх ресурс, знизити металомісткість та врешті вартість. Не менше значення має і підвищення технологічності цих виробів за рахунок заміни спеціальних елементів універсальними, навіть з інших галузей. Яскравим прикладом можуть служити муфти з канатними пружними елементами, впровадження у яких замість спеціальних пружних ланок сталевих канатів робить можливою суттєву економію. На жаль муфти з канатними пружними елементами на сьогодні досліджені недостатньо, вивчені лише деякі конструкції [1]. Тому обґрунтування параметрів та розроблення основ раціонального проектування цих виробів є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій та визначення невирішених задач проблеми. На сьогодні відомий порівняно невеликий обсяг робіт, що стосуються канатних муфт [1, 2]. Ці роботи дещо вивели задачу проектування цих пристроїв за межі емпіризму, однак методики проектування більшості конструкцій на сьогодні не створені. Не закладені також основи раціонального проектування цих виробів з метою підвищення їх безвідмовності за рахунок зниження навантаженості.

Постановка задачі. Однією з нових розробок є муфта з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування. Ця муфта характеризується очевидними перевагами серед інших конструкцій за рахунок можливості розміщення великої кількості канатів. На експлуатаційні параметри цієї муфти впливають її компоновальні параметри, зокрема геометричні розміри та їх співвідношення, тому встановлення раціонального співвідношення цих параметрів, які забезпечать мінімальне навантаження канатів є актуальним і становить задачу даної роботи.

Результати досліджень. В одній із останніх робіт авторів обґрунтовані геометрично-силові параметри муфти з торцевою установкою канатів торцевого розташування, зокрема отримані вирази для обчислення сили натягу канатів, один із яких (1) наведений нижче. Також показано, що можливі два випадки проектування таких муфт:

а) задача проектування муфти для заміни встановленої у приводі що знаходиться в експлуатації, коли відомі діаметри $D_{зв}$ та $D_{вн}$;

б) задача проектування нової муфти при невідомих $D_{зв}$ та $D_{вн}$, проте відомих обмеженнях щодо її компоновки.

Розглянемо детальніше варіант а), який фактично являє собою «вписування» канатної муфти в існуючі приєднувальні розміри елементів приводу, які сполучатиме муфта. Прикладом може бути муфта для сполучення маховика дизеля із передачею.

В такій муфті сила натягу каната F_n (рис. 1) визначається за формулою:

$$F_i = \frac{4T\sqrt{0,25(D_{сд}^2 + D_{ад}^2) - 0,5D_{сд}D_{ад}\cos\alpha}}{zD_{сд}D_{ад}\sin\alpha} \quad (1)$$

Виконаний чисельний аналіз формули (1) для визначення сили натягу канатів дав можливість побудувати для муфти із $z = 6$, $D_{зв} = 145$ мм, $D_{вн} = 95$ мм при $T = 1000$ Нм графік залежності сили натягу каната F_n , від величини кута монтажного зміщення напівмуфт ξ (рис. 2).

Аналіз цього графіка показує, що при інших рівних умовах, існує такий оптимальний кут ξ_F , який відповідає найменшому навантаженню канатів. Згідно з графіком на рис. 2, для вказаних параметрів муфти, цей кут знаходиться в районі 50°. Графік також дає можливість встановити, що при збільшенні кута ξ від 10° до приблизно 50° сила натягу каната F_n зменшується зі значення близько 7500 Н до значення близько 3500 Н, або в 2,15 разу. Тому в розглянутому випадку проектування, при необхідності «вписання» муфти у відомі

габарити постає потреба використання виразу для обчислення кута найменшої навантаженості канатів ζ_F , який необхідно визначати під час розрахунку муфти на міцність та вибору канатів при відомих діаметрах $D_{3в}$ та $D_{вн}$.

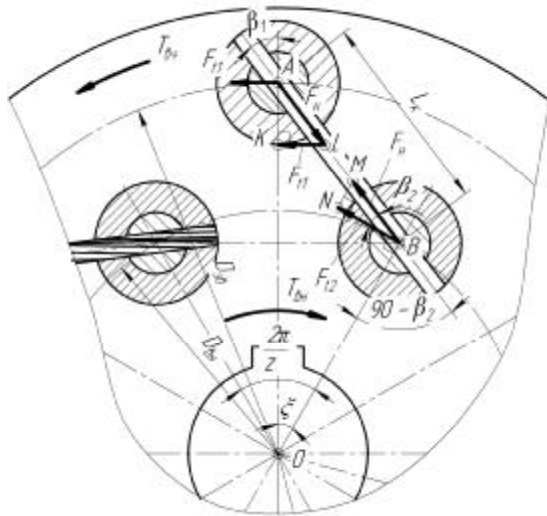


Рис. 1. Розрахункова схема муфти

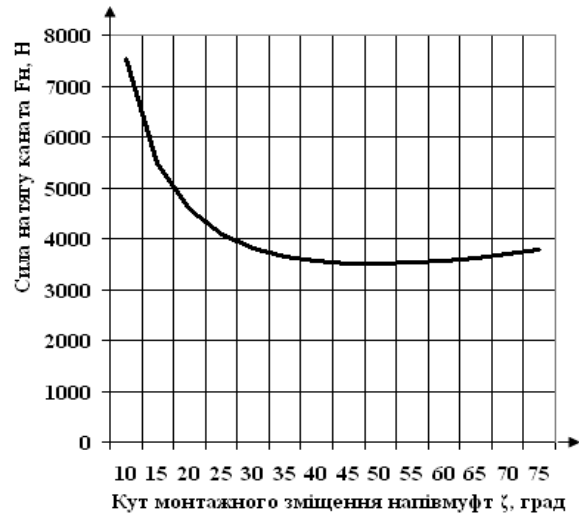


Рис. 2. Графік залежності сили натягу каната F_n від величини кута монтажного зміщення напівмуфт ζ

Як уже було зазначено, при проектуванні муфти слід прагнути до забезпечення найменшого натягу канатів F_n . Запишемо формулу для визначення сили натягу канатів у дещо іншій формі:

$$F_i = \frac{F_{ti}}{\sin b_1} = \frac{2T}{zD_{ca} \sin b_1}. \quad (2)$$

Аналіз формули (2) дає можливість зробити очевидний висновок, що зменшення сили натягу можна досягти, максимізувавши величину знаменника $\sin b_1$ (3).

$$\sin b_1 = \frac{D_{ai} \sin x}{2L_e}. \quad (3)$$

Або, врахувавши (4),

$$L_e = \sqrt{0,25(D_{ca}^2 + D_{ai}^2) - 0,5D_{ca}D_{ai} \cos x}, \quad (4)$$

$$\sin b_1 = \frac{D_{ai} \sin x}{2\sqrt{0,25(D_{ca}^2 + D_{ai}^2) - 0,5D_{ca}D_{ai} \cos x}}. \quad (5)$$

Для пошуку кутів ζ , які забезпечать мінімальне значення $\sin b_1$, візьмемо першу похідну від функції (5) та прирівняємо її до нуля. Введемо при цьому такі позначення: $\sin b_1 = R$, $\frac{D_{ai}}{2} = C_1$, $0,25(D_{ca}^2 + D_{ai}^2) = C_2$, $0,5D_{ca}D_{ai} = C_3$. Тоді вираз (5) набуде вигляду (6):

$$R = C_1 \frac{\sin x}{\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}}. \quad (6)$$

$$R' = \left(C_1 \frac{\sin x}{\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}} \right)' = 0. \quad (7)$$

$$R' = C_1 \left(\frac{\sin x}{\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}} \right)' = C_1 \frac{(\sin x)' \times \sqrt{C_2 - C_3 \cos x} - \sin x (\sqrt{C_2 - C_3 \cos x})'}{C_2 - C_3 \cos x} =$$

$$= C_1 \frac{\cos x \sqrt{C_2 - C_3 \cos x} - \frac{C_3 \sin^2 x}{2\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}}}{C_2 - C_3 \cos x} = 0. \quad (9)$$

Знаменник $C_2 - C_3 \cos x$ та константа C_1 у формулі (9) рівними нулю бути не можуть, тому спростуємо отримане рівняння (9) до вигляду (10):

$$\cos x \sqrt{C_2 - C_3 \cos x} - \frac{C_3 \sin^2 x}{2\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}} = 0. \quad (10)$$

Після ряду перетворень рівняння (10) спростується до вигляду (11):

$$-C_3 \cos^2 x + 2C_2 \cos x - C_3 = 0. \quad (11)$$

Вирішивши рівняння (11) отримаємо корінь (12):

$$\cos x = \frac{-2C_2 + \sqrt{4C_2^2 - 4C_3^2}}{-2C_3} = \frac{C_2 - \sqrt{C_2^2 - C_3^2}}{C_3}. \quad (12)$$

Підстановкою раніше введених констант перетворимо (12) до виду (13):

$$\cos x = \frac{0,25(D_{\zeta a}^2 + D_{ai}^2) - \sqrt{(0,25(D_{\zeta a}^2 + D_{ai}^2))^2 - (0,5D_{\zeta a}D_{ai})^2}}{0,5D_{\zeta a}D_{ai}}. \quad (13)$$

Звідки

$$x = \arccos \left(\frac{0,25(D_{\zeta a}^2 + D_{ai}^2) - \sqrt{(0,25(D_{\zeta a}^2 + D_{ai}^2))^2 - (0,5D_{\zeta a}D_{ai})^2}}{0,5D_{\zeta a}D_{ai}} \right). \quad (14)$$

Для модельної муфти обчислюємо проміжні величини та підставляємо в (14):

$$C_2 = 0,25(D_{\zeta a}^2 + D_{ai}^2) = 0,25(145^2 + 95^2) = 7512,5 \text{ } \text{ì} \text{ } \text{ì}^2,$$

$$C_3 = 0,5D_{\zeta a}D_{ai} = 0,5 \times 145 \times 95 = 6887,5 \text{ } \text{ì} \text{ } \text{ì}^2.$$

$$x = \arccos \left(\frac{7512,5 - \sqrt{(7512,5)^2 - (6887,5)^2}}{6887,5} \right) = 49^\circ 4' 2''.$$

Результати чисельного моделювання наведені на рис. 2 показали співпадіння з розрахунком за отриманою формулою (14). Таким чином, можна стверджувати, що отриманий вираз (14') дозволяє обчислити оптимальний кут монтажного зміщення напівмуфт ζ_F , забезпечення якого дозволяє зменшити натяг канатів до мінімуму.

$$x_F = \arccos \left(\frac{0,25(D_{\zeta a}^2 + D_{ai}^2) - \sqrt{(0,25(D_{\zeta a}^2 + D_{ai}^2))^2 - (0,5D_{\zeta a}D_{ai})^2}}{0,5D_{\zeta a}D_{ai}} \right). \quad (14')$$

В результаті виконаних досліджень можна зробити наступні **висновки**:

1. Результати досліджень дозволили вперше встановити вплив кута ζ монтажного зміщення напівмуфт на навантаження канатів муфти з торцевою їх установкою та тангенціальним розташуванням.
2. Встановлено, що при збільшенні кута ζ від 10° до приблизно 50° сила натягу каната зменшується з 7500 Н до 3500 Н, або в 2,15 разів.
3. Отримано вираз для визначення оптимального кута монтажного зміщення напівмуфт ζ_F , забезпечення якого дозволяє зменшити натяг канатів муфти до мінімуму.
4. Отримані результати формують умови для розроблення методики раціонального проектування муфт з канатними пружними елементами.

Можна рекомендувати наступні **напрямки подальших досліджень**:

1. Дослідження впливу кута монтажного зміщення напівмуфт на натяг канатів.
2. Порівняння основних показників муфт з торцевою установкою канатів тангенціального та хордального розташування.
3. Розроблення методики проектування муфт з торцевою установкою канатів.
4. Дослідження впливу не співвісності на перерозподіл навантаження між канатами у муфтах.
5. Дослідження впливу не співвісності на додаткові навантаження від муфт на поєднувані вали.
6. Дослідження впливу не співвісності на довговічність канатів.
7. Дослідження тепловиділення від канатів муфт при їх роботі в умовах не співвісності.
8. Дослідження міцності та розроблення методики розрахунку фланців напівмуфт.
9. Обґрунтування параметрів пристроїв для затиску канатів у муфтах.
10. Комплексна оптимізація параметрів муфт з торцевими канатами.

Література

1. Проценко В.О. Експериментальні дослідження статичної жорсткості з'єднувальних муфт з осью установкою прямих канатів / В.О. Проценко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ. – 2010. – № 4 (160). – С. 38–44.
2. Разработка и исследование демпфирующих силовых передаточных устройств с канатными связями для главного привода крана : отчет о научно-исследовательской работе № 72025333 / рук. Ивашин Б.И. – Одесса : ОПИ, 1972. – 52 с.

Рецензія/Peer review : 25.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 10.2.2016 р.
Рецензент: к.т.н., доц. Бабій М.В.

ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ МІЦНОСТІ І ГЕРМЕТИЧНОСТІ КОМПАУНДОВАНИХ ВИРОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

В роботі дається огляд сучасного стану проблем механічної міцності і герметичності компаундованих виробів радіоелектронної апаратури. Звертається увага на недостатнє вивчення механічних властивостей нових матеріалів, які застосовуються в радіотехніці, а також на великий розкид їх значень. Внаслідок великої відмінності фізико механічних характеристик матеріалів, що контактують між собою, можуть виникати великі внутрішні напруження, які можуть призвести до розгерметизації та розтріскування. Також звертається увага на відсутність розрахунків і вимірювань виникаючих термічних напружень.

Ключові слова: компаунд, конструкція, конденсатор, радіоелектронна апаратура, герметизація, напруження, міцність.

V.P. ROYZMAN, A.G. VOZNYAK

Khmelnitskiy National University

REVIEW PROBLEM STRENGTH AND TIGHTNESS COMPOUNDING ELECTRONIC DEVICES

Abstract – This paper provides an overview of the current state of problems of mechanical strength and tightness compound electronics products. Insufficient attention is paid to the study of the mechanical properties of new materials used in the radio and on the large spread their values. Due to large differences of physical mechanical properties of materials in contact with each other, may have large internal stresses that can cause cracking and depressurization.

Attention is drawn to the absence of calculations and measurements occurring thermal stresses.

Keywords: compound, construction, capacitor, electronic equipment, pressurization, tension, strength.

Під час аналізу причин відмов радіоелектронної апаратури, традиційно вважається, що 40–45% відмов в експлуатації відбуваються через помилки, які допускаються на етапі проектування, 20% обумовлюється недосконалістю технологічних процесів виготовлення, а також недостатнім рівнем технологічної дисципліни, 30% викликано неправильними режимами експлуатації і порушенням правил технічного обслуговування і 5–7% – від зношування складових частин і старіння матеріалів. Проте у наведеній класифікації не враховано взаємозв'язок, наприклад, конструкторських і технологічних причин відмов. Рішення ж проблем забезпечення якості вимагає не тільки врахування всіх етапів виготовлення: проектування, виготовлення, доведення і експлуатації, але і взаємного впливу цих етапів. Нехтування цим принципом веде до зниження якості. Так, на практиці досить часто недостатня надійність самих технологічних процесів виготовлення буває обумовлена недостатнім рівнем виробничої технологічності їх конструкції та застосованої елементної бази. Більше того, проекти деяких систем, в основі яких були закладені прогресивні принципи їх дії, залишилися нереалізованими лише тому, що виявилися недостатньо технологічними, занадто трудомісткими, непридатними з точки зору виготовлення.

Аналіз сучасних виробів РЕА та їх елементної бази свідчить про те, що найбільш загальною тенденцією в розвитку радіоелектронної техніки є об'єднання все більшої інтеграції виконуючих функцій з все більшою її мікромініатюризацією. Наслідком цього є різке ускладнення конструкцій сучасних виробів і технологічних процесів їх виготовлення. Так технологія виготовлення сучасних мікросхем практично не допускає коригування їх структури і параметрів в процесі виготовлення, простіше створити нову мікросхему, ніж скоригувати вже виготовлену. Це різко зменшує можливість експериментального доведення (налагодження та оптимізації) і, відповідно, вимагає своєчасного вирішення основних питань технологічності конструкції і питань підвищення надійності технологічних процесів їх виготовлення з одночасним підвищенням точності проведених при цьому теоретичних розрахунків. Аналіз конструкторських особливостей сучасних виробів РЕА показує, що вирішення завдань забезпечення захисту від вологості і стійкості при зміні температури і тиску навколишнього середовища призвело до використання в конструкціях нових матеріалів з недостатньо вивченими властивостями і об'єднанню різномірних матеріалів. Механічна взаємодія, що виникає в таких конструкціях, може істотно вплинути як на протікання основних електричних процесів, так і на працездатність виробу в цілому. Проте, в даний час, роботи з проектування РЕА часто проводяться лише у виключно радіотехнічному напрямку, без необхідних розрахунків на міцність, без вимірювання напружень і оцінки напруженого стану конструкцій в цілому і їх окремих елементів. В той же час сучасні вимоги і майбутнє радіоелектроніки, а також сфери її використання, висувають в один ряд з виключно радіоелектронними завданнями проблему забезпечення механічної міцності і надійності.

Конструкторські особливості сучасних РЕА обумовлюють необхідність спеціального вивчення питань їх міцності і герметичності, яким зараз приділяють недостатньо уваги. Справа в тому, що в процесі проектування і доведення РЕА дуже часто розглядаються лише їх електричні параметри. Що ж стосується конструкції герметизованих РЕА, то тут основну увагу потрібно приділити волого-захисним властивостям застосованих в них полімерних матеріалів. В той же час їх механічна міцність і взаємодія зі складовими частинами конструкції можуть мати істотний вплив, як на протікання електричних процесів, так і на

працездатність пристрою в цілому. Крім того, дуже рідко при проектуванні РЕА вивчається вплив їх механічних параметрів на значення електричних характеристик.

У сучасній радіоелектронній апаратурі широко використовується герметизація деталей, вузлів і блоків термореактивними компаундами на основі синтетичних полімерних смол. Герметизація є ефективним засобом захисту від вологи, хімічно агресивних речовин та інших шкідливих впливів навколишнього середовища. Як правило, герметизація покращує електроізоляційні, механічні та інші експлуатаційні характеристики апаратури, підвищує її надійність, а також має інші переваги. В той же час герметизація має і недоліки. Наприклад, завдяки низькій теплопровідності компаундів погіршується тепловідвід, компаунд обмежує можливості ремонту, внутрішні напруження в компаундах можуть знижувати працездатність деталей або цілісність компаунда.

Відомо, що герметизація може не дати потрібного ефекту і навіть призвести до зниження надійності апаратури через розтріскування компаунда, обриву електричних ланцюгів і інших неполадок, пов'язаних з внутрішніми напруженнями. Тобто, вибір компаунда з відмінними електроізоляційними, вологозахисними і технологічними характеристиками не є гарантією надійності роботи конструкції.

Прикрі і дорогі прорахунки виникають у тих випадках, коли при виборі компаунда беруть до уваги лише його характеристики як матеріалу і не враховують взаємодію з герметизованими елементами.

Звичайно, конструкторам відомо, що герметизуючі компаунди утворюють з елементами РЕА монолітні з'єднання. Внаслідок великої відмінності у фізико-механічних характеристиках всіх елементів, які становлять таку систему, вони неминуче взаємодіють між собою. На жаль, даних про взаємодію компаунда з елементами поки що в довідниках немає.

Є декілька книг з герметизації РЕА. Наприклад, книга Ч. Харпера [1] містить в собі деякі відомості, в тому числі по внутрішнім напруженням в компаундах, проте цей матеріал викладений у стислому вигляді і далекий від досконалості.

Журнальні статті з цієї тематики дають уривчасті відомості, і на додачу використання публікацій ускладнюється відсутністю загальноприйнятої термінології і методики вимірювання внутрішніх напружень. Склалося становище, при якому характеристики радіоелектронних схем, які визначаються схемно-електричними параметрами, підлягають теоретичному аналізу і розрахунку, в той час як компаунди для герметизації обираються інтуїтивно, на основі досвіду, рекомендацій фахівців. Якщо виріб, який герметизується, витримав задані навантаження, то завдання вибору компаунда вважається вирішеним. Подальші пошуки, як правило, припиняються, хоча вимоги до фізико-механічних характеристик компаунда залишаються невивченими, і немає впевненості в тому, що обраний компаунд повністю їм відповідає. При необхідності заміни одного компаунда іншим складно визначити, які властивості повинні бути збережені або покращені, а які не мають істотного значення. При такому підході не може бути й мови про вибір оптимального компаунда.

Фізико-механічна взаємодія компаунда та елементів РЕА характеризується виникненням внутрішніх напружень.

Розглядаючи внутрішні механічні напруження, які виникають в монолітній системі, компаунд – герметизована деталь, різні автори застосовують декілька різних термінів для їх позначення. Наприклад, в іноземній технічній літературі зустрічається термін: *internal stresses* – внутрішнє напруження або *residual stresses* – залишкове напруження; *interface stresses* – при позначенні радіальної складової напруження на межі розділу компаунд – герметизована деталь, а також для позначення рівномірно розподіленого радіального так званого контактного тиску компаунда на деталь; *shrinkage stresses* – так звані усадкові напруження.

В загальному випадку сучасна конструкція РЕА представляє собою гетерогенну систему з елементів РЕА і компаунда. Вони об'єднані фізико-механічними зв'язками, наприклад, силами адгезії компаунда. У такій системі затвердіння компаунда супроводжується зміною обсягу, при цьому усадкові деформації не проходять вільно.

Більшість конструкцій радіоелектронних пристроїв являють собою заполімеризований об'єм компаунда з багаточисленними включеннями у виді різнорідних елементів, плат з контактними виводами і можуть розглядатися як єдине тіло – з'єднання, складене з багатьох неоднорідних матеріалів, об'єднаних в одне ціле (рис. 1).

На етапах виробництва, зберігання і експлуатації при коливаннях температури, внаслідок відмінності фізико-механічних характеристик всіх елементів, які складають систему, має місце взаємодія компаунда з його включеннями, тобто з електронними елементами та іншими складовими конструкції, і виникають механічні напруження, від яких можуть руйнуватися найменш міцні ділянки конструкції.

Аналіз конструктивних особливостей типових резисторів і конденсаторів показує, що геометрична



Рис. 1. Гермомодуль

форма цих пасивних радіо-електричних компонентів, як правило, має вигляд тіла обертання, багатогранників або їх сукупностей. На рис. 2–5 приведені деякі з досліджуваних виробів.

До заливки герметизуючі елементи і герметик розігрівають до температури полімеризації, при цьому вони розширюються незалежно один від одного. Після заливки герметиком виріб розміщують в термостат і витримують до кінця процесу полімеризації, в ході якого через хімічну усадку герметика вже виникають незначні по величині [2] контактні тиски і напруження. Після завершення процесу полімеризації, внаслідок відмінностей в фізико-механічних характеристиках герметика і ЕРЕ, на їх межах виникають контактні тиски, котрі обумовлюють наявність напружень в матеріалах конструкції.

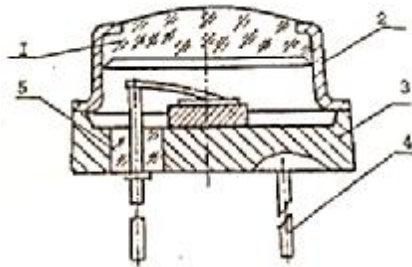


Рис. 2. Фоторезистор: 1 – скляне віконце; 2 – кришка; 3 – корпус; 4 – вивід; 5 – бусинка

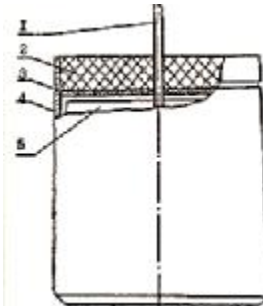


Рис. 3. Тонкоплівковий конденсатор: 1 – вивід; 2 – компаунд; 3 – прокладка; 4 – корпус; 5 – секція

Основними причинами виникнення внутрішніх напружень у гетерогенній системі є зміна обсягу затверділого компаунда в порівнянні з попереднім рідким станом, і відмінність в температурних коефіцієнтах розширення матеріалів, які складають гетерогенну систему. Напруження, які виникають при цих видах деформацій, отримали назву усадкових і термічних відповідно.

Виникнення усадкових напружень пов'язано з процесом утворення зшитої структури компаунда, який супроводжується орієнтацією молекул, виникненням хімічних зв'язків і утворенням ланцюгових молекул, взаємне розташування яких відрізняється від розташування молекул мономерів. Ці процеси супроводжуються зміною міжмолекулярних відстаней. Одночасно змінюється обсяг компаунда, відбувається усадка.

По відношенню до компаунду електрорадіоелементи є чужорідними тілами, які заважають вільній зміні обсягу компаунда. На поверхні чужорідних тіл релаксаційні процеси сповільнюються, через що виникають напружені структури [3, 4].

Внутрішні напруження можуть виникнути і без чужорідних елементів у зв'язку з тим, що в процесі переходу компаунда з високоеластичного в склоподібний стан різко збільшується в'язкість і зменшується швидкість високоеластичної деформації. В результаті в компаунді виникають так звані "гартівні" напруження. Ці напруження можуть бути причиною жолоблення литих і пресованих полімерних деталей, появи тріщин і вторинних небажаних змін стану. Ці напруження можуть бути зняті шляхом відпалу і надалі розглядатися не будуть.

Термічні напруження обумовлені різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення (ТКЛР) компаунда і герметизованих деталей. Згідно теорії пружності, будь-який обсяг однорідної термічно ізотропної речовини з ТКЛР більше нуля при охолодженні зменшується в розмірах без появи напружень за умови, що його температура змінюється рівномірно, і немає сил (зовнішніх чи внутрішніх), які заважають вільній зміні розмірів. А в з'єднаній системі "компаунд-електрорадіоелемент" ці умови, як правило, створити неможливо. Фактично деформація компаунда не проходить вільно через різні ТКЛР елементів, які складають з'єднану систему. Таким чином, при охолодженні компаунда, що затвердіває, в ньому виникають термічні внутрішні напруження, які збільшуються у міру охолодження.

Очевидно, що внутрішні напруження не є фізичною константою, як, наприклад, питома вага, ТКЛР та інші властивості компаунда. Говорячи про внутрішні напруження в компаундах, мають на увазі явище, обумовлене фізико-механічними взаємодіями компаунда і герметизованої деталі. Хімічна (набухання деяких електроізоляційних матеріалів, пошкодження лакофарбового покриття елементів РЕА та інше) взаємодія в цих роботах не розглядається.

Більшість неметалічних матеріалів, які застосовуються в конструкціях радіоелектронних систем (РЕС), є полімерами. Це пластмаси і гума, компаунди і клеї, скло і ситали, азбест і кераміка, слюда, кварц та інші.

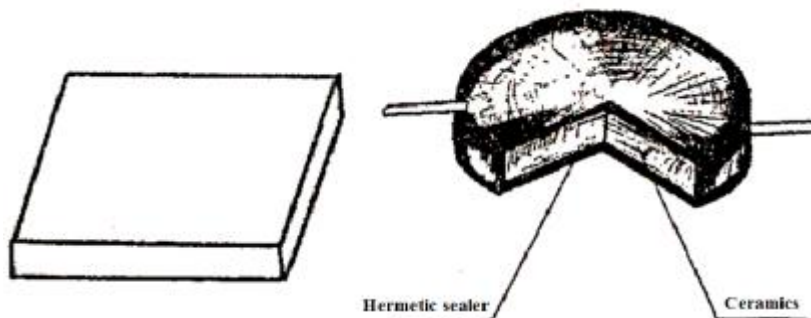


Рис. 4. Конденсатор виду:
а) КМ-5в; б) К15-5

Номенклатура полімерних матеріалів дуже велика, а інформації про їх властивості мало, тому правильно обрати матеріал для конкретної РЕС дуже складно. На практиці нерідко виникає необхідність комплексного використання полімерних матеріалів в конструкціях РЕС. Разом з функціями електричної ізоляції полімери виконують роль конструкційних матеріалів.

Історично склалося так, що широке застосування полімерних матеріалів в електроніці відбулося на початку періоду мініатюризації,

коли вироби, які герметизувалися, ще мали значні розміри і великі коефіцієнти запасу міцності. І на додачу рівень механічних впливів був нижче тих навантажень, які діють на сучасні РЕС. В той період характеристики полімерних матеріалів були мало вивчені і основні роботи були присвячені удосконаленню технології виробництва полімерів і технології герметизації РЕС.

Це і визначило те, що наукові роботи в основному присвячувалися міцності герметиків. В міру мініатюризації РЕС з'явилася проблема міцності елементів, які герметизуються, і в літературі стали з'являтися рекомендації з оцінки взаємодії елементів і конструкцій з герметизуючими матеріалами.

Розвиток техніки ставив перед інженерами все нові завдання, пов'язані з ускладненням умов роботи РЕС, і це викликало появу проблем, в яких потрібно було проводити розрахунки і розробляти методики випробувань апаратури при механічних і кліматичних впливах.

Слід зауважити, що якщо в початковий період мікромініатюризації в радіoeлектроніці застосування методів і засобів, які використовувалися у загальному машинобудуванні для вимірювання деформацій і напружень, було просто неможливим, то в даний час прогрес техніки вимірювання неелектричних величин електричними методами відкриває можливість для застосування деяких методів в електроніці.

Як показано в роботі [5], велике значення для працездатності РЕС, що герметизуються, має застосування полімерних герметизуючих матеріалів із заданими фізико-механічними властивостями. Тому певну кількість робіт присвячено вивченню фізико-механічних характеристик існуючих герметизуючих матеріалів [6–8], а також нових марок, які розроблюються, характеристики яких цілком би задовольнили вимоги працездатності конструкцій РЕС [9–11]. Визначення цих характеристик здійснюється експериментально (шляхом випробувань дослідних зразків матеріалу), або теоретично (шляхом розрахунків із залученням тих чи інших спрощених моделей, які описують процеси в полімерних матеріалах) [12–14].

Відомо, що фізико-механічні властивості герметиків, зокрема, внутрішні напруження в них, багато в чому залежать від режимів полімеризації. Конкретні рекомендації щодо вибору режимів полімеризації для різних рецептур герметизуючих матеріалів наводяться в літературі [13–15], але в цих роботах не враховується вплив заповнення обсягу елементами схеми.

Існують формули для розрахунку коефіцієнта лінійного теплового розширення (КЛТР) герметиків, виходячи з об'ємного вмісту компонентів [14, 15]. Проте ці формули не враховують механічної взаємодії наповнювача і ряду інших чинників. Відома також формула для розрахунку модуля пружності композицій, скріплених частинками [16], але вона враховує лише об'ємний вміст компонентів.

В роботах [3, 17] вказується, що фізико-механічні характеристики багато в чому залежать від складу полімерного матеріалу. Зокрема, введення пластифікаторів викликає зниження температури склоутворення і модуля пружності, що обумовлює необхідність більш поглибленого вивчення міцності конструкцій РЕС, герметизованих такими матеріалами, наприклад, вивчення виникнення і розподілу залишкових напружень у з'єднаннях на основі епоксидних смол [18, 19–24].

В роботах [2, 25] та інших вказується на випадковий характер механічних характеристик матеріалів. Проте, як правило, тут для обробки експериментальних даних застосовується нормальний закон розподілу ймовірності, який найчастіше не описує реальний стан речей [17]. Тому є сенс продовжити дослідження статистичного характеру властивостей матеріалів і виробів з урахуванням того факту, що ці випадкові величини можуть мати не лише ненормальні, але і у ряді випадків, не одномодальні закони розподілу.

Аналізуючи дослідження, описані в розглянутих вище роботах, варто відмітити, що, будучи проведеними на лабораторних зразках або спрощених теоретичних моделях, вони носять більше якісний, аніж кількісний характер, що істотним чином обмежує сферу їх застосовності для реальних конструкцій. Між тим, практичні умови роботи герметизуючих матеріалів у всьому робочому діапазоні температур настільки складні, що їх повний облік поки неможливий і необхідні випробування в реальних умовах експлуатації [24].

Як стверджується в тій самій роботі [24], необхідно визначати ті фізико-механічні показники герметиків, які служать для характеристики та порівняння матеріалів, забезпечення даними для розрахунку та визначення експлуатаційних характеристик, контролю якості продукції власне в процесі виробництва. Об'єктивна наукова оцінка методів випробувань приводить до висновку про неправильність довільного

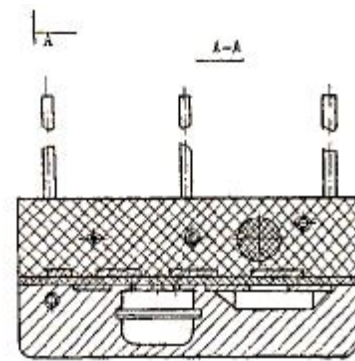
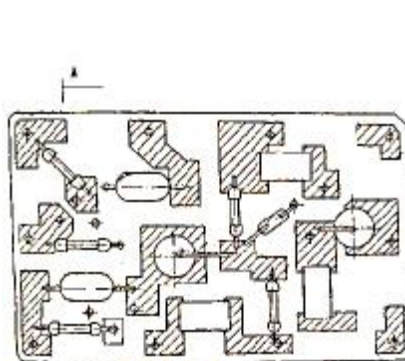


Рис. 5. Резистори, конденсатори та інші ЕРЕ в мікросбірці

застосування методів випробувань. Тут же вказується, що швидке зростання промисловості полімерів неминує ставить практику перед теорією, а складність властивостей полімерів обумовлює недостатність наших знань про матеріали. В роботі робиться спроба вирішення зазначеної проблеми шляхом переоцінки явищ і перегляду підходу до випробувань. Проте вона в основному присвячена розвитку динамічних впливів і методів випробувань, які не враховують вплив статичних навантажень на міцність полімерів.

В ряді випадків фізико-механічні характеристики, які наводяться в різних роботах навіть одного і того ж автора, мають велике розходження. Так, зазначені в роботі [11] значення КЛТР ряду компаундів майже в три рази відрізняються від коефіцієнтів, зазначених у роботі [25] для цих же компаундів. Незважаючи на це, особливо цінним тут є експериментально отримані залежності фізико-механічних характеристик деяких компаундів від температури, але, на жаль, відсутні дані по розкиду цих характеристик.

Надалі ми сконцентруємося на дослідженні міцності і герметичності циліндричних компаундованих гермоузлів з прохідними виводами на прикладі тонко-плівкових і електролітичних конденсаторів (рис. 3).

Література

1. Харпер Ч. Заливка электронного оборудования синтетическими смолами / Ч. Харпер ; пер. с англ. – М. : Энергия, 1964. – 408 с.
2. Трифонюк В. В. Надежность устройств промышленной электроники / В.В. Трифонюк. – К. : Лыбидь, 1993. – 62 с.
3. Каргин В. А. Влияние объемной концентрации пластификатора на температуру стеклования пластика / В. А. Каргин, Ю. И. Малинский // Докл. АН СССР. – 1950. – Т. 73, № 5.
4. Каргин В. А. Краткие очерки по физикохимии полимеров / В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский. – М. : Химия, 1967. – 232 с.
5. Карина Т. Л. Эпоксидные – полиэфирные заливочные компаунды / Т. Л. Карина, М. А. Голубенко // Электронная техника. Материалы. – 1968. – Вып. 4. – С. 125–133.
6. Савинский П. А. Новые герметизирующие материалы, свойства и применение / П. А. Савинский. – Л. : ЛДНТП, 1971. – 18 с.
7. Черняк К. И. Эпоксидные компаунды и их применение / К. И. Черняк. – Л. : Судостроение, 1967. – 400 с.
8. Электроизоляционные компаунды. – М., 1969. – 15 с.
9. Кан К. Н. Механическая прочность эпоксидной изоляции / К. Н. Кан, А. Ф. Николаевич, В. М. Шанников. – Л. : Энергия, 1973. – 148 с.
10. Герметизация полимерными материалами в радиоэлектронике / Б. М. Тареев, Л. В. Яманова, В. А. Волков, Н. Н. Ивлев. – М. : Энергия, 1974. – 302 с.
11. Гуль В. Э. Структура и механические свойства полимеров / В. Э. Гуль, В. Н. Кулезьев. – М. : Высшая школа, 1986. – 312 с.
12. Ковальская А. В. Эпоксидные заливочные компаунды / А. В. Ковальская // Вестник электромашинопромышленности. – 1960. – № 2. – С. 1–6.
13. Черняк К. И. Эпоксидные компаунды и их применение / К. И. Черняк. – Л. : Судостроение, 1967. – 400 с.
14. Котрубенко Б. П. В ТКР некоторых компаундов, используемых для герметизации / Б. П. Котрубенко // Микропривод и приборы сопротивления. – Кишинев, 1967. – С. 280–282.
15. Современные композиционные материалы / под ред. Л. Браутмана, Р. Крока ; пер. с англ. – М. : Мир, 1970. – 672 с.
16. Журков С. Н. Проблема прочности твердых тел / С. Н. Журков // Вестник АН СССР. – 1957. – № 11. – С. 78–82.
17. Галушко А. И. Влияние свойств полимеров на надежность герметизированной аппаратуры / А. И. Галушко, Ю. Ф. Гедыч. – М. : Информстандартэлектро, 1969. – 52 с.
18. Абибов А. Л. Исследование остаточных (внутренних) напряжений в армированном эпоксидном полимере / А. Л. Абибов, Г. А. Молодцов // Механика полимеров. – 1965. – № 4. – С. 70–80.
19. Hagedorn M. Die Clasharz-Crenzfläche als zentralproblem oder clasgasetarten kunststoffe / M. Hagedorn. – Kunststoffe, 1962. Bd 52, H 10. S. 605–612.
20. Hasllett W. Shrinkage stresses in glass filament systems / W. Hasllett, Mc. Carry J. – Modern plastees, 1962. – Vol 40. – № 4. – P. 135–192.
21. Тернер С. Механические испытания пластмасс / С. Тернер ; пер. с англ. – М. : Машиностроение, 1979. – 144 с.
22. Локтаев В. С. Технология производства микромодулей / В. С. Локтаев, В. Д. Гимпельсон. – М. : Энергия, 1973. – 144 с.
23. Кан К. Н. Оценка работоспособности полимерных компаундов / К. Н. Кан. – Л. : ДДНТП, 1974. – 18 с.
24. Гусев В. П. Технология радиоаппаратуростроения / В. П. Гусев. – Г. : Высшая школа, 1972. – 496 с.
25. Zee H. Epoxy resins / H. Zee, K. Neville. – New York, 1967. – 922 p.

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОФАКТОРНИХ ПРОЦЕСІВ З ВЗАЄМОЗАЛЕЖНИМИ ФАКТОРАМИ ВПЛИВУ

Проаналізовані відомі методи формування математичних моделей з точки зору їхньої прийнятності для моделювання реальних фізичних процесів, вихідні фактори впливу яких пов'язані нелінійними залежностями. Запропонована методика формування математичних моделей багатofакторних процесів із взаємозалежними факторами впливу.

Ключові слова: моделювання, математична модель, взаємозалежні фактори

G.M. SOKOLOVA

Khmelnytsky National University

MODELING OF MULTIFACTORIAL PROCESSES WITH INTERDEPENDENT FACTORS OF INFLUENCE

The known methods of forming mathematical models in the terms of their suitability for modeling of real physical processes with interdependent factors are analyzed.

The method of the forming of mathematical models of multifactorial processes with interdependent factors of influence is offered. The technique is based on the known modeling methods (forming of multifactorial processes analytical models by successive exclusion of impacts, mathematical modeling of multifactorial processes and multicomponent systems based on constructive geometry, forming of optimization models of multifactorial processes by means of descriptive geometry of multidimensional space). The offered method combines the elements of all these methods.

The logic of the offered model algorithm makes it possible to automate the process of its formation with the software developed in any computer system.

Keywords: modeling, mathematical model, interrelated factors

Вступ

Найбільш поширеним на сьогодні способом математичного моделювання багатofакторних процесів залишається метод планування експерименту (ПЕ), який дозволяє отримувати моделі процесів, використовуючи факторне планування та регресійний аналіз. Втім, вказаний метод має багато недоліків, чи не основним з яких є постулат апріорної відомості істинної структури регресійної моделі. На нього спирається уся традиційна теорія ПЕ, хоча при проведенні прикладних досліджень у переважній більшості випадків вказати цю структуру неможливо. Іншою, не менш серйозною проблемою є відсутність у традиційній методології ПЕ засобів роботи з нестандартними областями факторного простору. Усі плани розраховані на роботу у деякій стандартній його області, якою є гіперпаралелепіпед або гіперкуля, що далеко не завжди спостерігається у реальних задачах [1].

Остання проблема тісно пов'язана із вимогою незалежності факторів досліджуваного процесу, що є обов'язковою умовою застосування методу ПЕ, яка далеко не завжди може бути дотримана на практиці, результатом чого є ігнорування впливу окремих факторів і, як наслідок, недостатня точність, а інколи й абсолютна неприйнятність отриманих математичних моделей.

Аналіз джерел за темою дослідження

Серед існуючих методів математичного моделювання багатofакторних процесів, що дозволяють прогнозувати їхні результати залежно від взаємозалежних факторів впливу, варто виділити описані у роботах [2] та [3]. Перший надає можливість на базі конструктивної геометрії формувати аналітичні залежності, які пов'язують результуючий параметр з усім комплексом вихідних факторів – як незалежних, тобто таких, значення яких може бути встановлене на будь-якому рівні незалежно від рівнів інших факторів, так і тих, значення яких виступають функцією вказаних незалежних факторів. Таким чином, кінцева модель виявляється штучно переобтяженою, оскільки встановлення залежності результатів досліджуваного процесу від показників, які уже містять у собі інформацію про вплив незалежних факторів, було б цілком достатнім. Другий зі згаданих методів дозволяє будувати графічні моделі багатofакторних процесів із використанням методологічного апарату нарисної геометрії багатовимірному простору. При всій простоті та наочності цього методу його застосування варто визнати надто трудомістким, а точність доволі відносною, оскільки вона визначається точністю побудов та вимірювань.

Постановка завдання

Оскільки у реальних процесах значення вихідних факторів можуть бути взаємопов'язаними, а їх ігнорування може як знижувати точність розроблюваної моделі, так і абсолютно її нівелювати, постає задача розробки методики формування моделей багатofакторних процесів із взаємозалежними факторами впливу. Пропонована методика базується на відомих способах моделювання [2–4], органічно поєднуючи їхні елементи.

Виклад основного матеріалу

Нехай масив експериментальних даних задано матрицею M_1 , де A, B, C, D, E – вихідні фактори впливу, причому C, D, E – нелінійно залежать від A та B , а R – цільова функція.

$$M_1 = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 & E_1 & R_1 \\ A_1 & B_1 & C_2 & D_2 & E_2 & R_2 \\ A_1 & B_1 & C_3 & D_3 & E_3 & R_3 \\ A_1 & B_2 & C_4 & D_4 & E_4 & R_4 \\ A_1 & B_2 & C_5 & D_5 & E_5 & R_5 \\ A_1 & B_2 & C_6 & D_6 & E_6 & R_6 \\ A_1 & B_3 & C_7 & D_7 & E_7 & R_7 \\ A_1 & B_3 & C_8 & D_8 & E_8 & R_8 \\ A_1 & B_3 & C_9 & D_9 & E_9 & R_9 \\ A_2 & B_1 & C_{10} & D_{10} & E_{10} & R_{10} \\ A_2 & B_1 & C_{11} & D_{11} & E_{11} & R_{11} \\ A_2 & B_1 & C_{12} & D_{12} & E_{12} & R_{12} \\ A_2 & B_2 & C_{13} & D_{13} & E_{13} & R_{13} \\ A_2 & B_2 & C_{14} & D_{14} & E_{14} & R_{14} \\ A_2 & B_2 & C_{15} & D_{15} & E_{15} & R_{15} \\ A_2 & B_3 & C_{16} & D_{16} & E_{16} & R_{16} \\ A_2 & B_3 & C_{17} & D_{17} & E_{17} & R_{17} \\ A_2 & B_3 & C_{18} & D_{18} & E_{18} & R_{18} \\ A_3 & B_1 & C_{19} & D_{19} & E_{19} & R_{19} \\ A_3 & B_1 & C_{20} & D_{20} & E_{20} & R_{20} \\ A_3 & B_1 & C_{21} & D_{21} & E_{21} & R_{21} \\ A_3 & B_2 & C_{22} & D_{22} & E_{22} & R_{22} \\ A_3 & B_2 & C_{23} & D_{23} & E_{23} & R_{23} \\ A_3 & B_2 & C_{24} & D_{24} & E_{24} & R_{24} \\ A_3 & B_3 & C_{25} & D_{25} & E_{25} & R_{25} \\ A_3 & B_3 & C_{26} & D_{26} & E_{26} & R_{26} \\ A_3 & B_3 & C_{27} & D_{27} & E_{27} & R_{27} \end{pmatrix}$$

Необхідно створити модель, що дозволить розраховувати значення R_x цільової функції при заданій комбінації взаємопов'язаних факторів C, D, E : $C = C_x, D = D_x, E = E_x$.

Варто зауважити, що формування моделі з використанням у якості вихідних факторів впливу виключно залежних показників, що по суті є функцією незалежних факторів, має сенс лише в тому випадку, коли між вказаними величинами існує однозначний зв'язок, тобто кожній унікальній комбінації незалежних факторів відповідає лише одна комбінація залежних факторів.

Створення моделі відбувається у кілька етапів.

1. Визначення залежностей $f_{1i} = E(C)$ та $f_{2i} = E(D)$.

Для визначення вказаних залежностей досліджувані фактори (при рівних значеннях факторів, від яких вони залежать) представляються як координати точок, через які необхідно провести деяку лінію і скласти її рівняння. Ця задача може бути вирішена у два способи [2]:

1) проведенням через заданий масив точок з певною точністю наближення апроксимуючої кривої $y = \varphi(x)$; у якості критерію точності апроксимації, як правило, приймається мінімум суми квадратів відхилення розрахункових значень апроксимуючої функції від експериментальних даних;

2) проведенням через заданий масив точок інтерполяційної кривої $y = f(x)$, інцидентної кільком точкам A_i заданого масиву.

У прикладі, що розглядається, доцільно обрати другий спосіб, оскільки кількість вузлів інтерполювання дорівнюватиме трьом, а отже залежність з високим ступенем точності може бути описана поліномом другого порядку.

У випадку встановлення залежностей $f_{1i} = E(C)$ координатами інтерполяції будуть:

при $A = A_1, B = B_1$: $(C_1, E_1), (C_2, E_2), (C_3, E_3)$;

при $A = A_1, B = B_2$: $(C_4, E_4), (C_5, E_5), (C_6, E_6)$;

при $A = A_1, B = B_3$: $(C_7, E_7), (C_8, E_8), (C_9, E_9)$ і т. д.

Таким, чином у результаті буде отримано дев'ять поліномів другого порядку, коефіцієнти яких

можуть бути подані у вигляді матриці $M_2 = m \times n$, де в загальному випадку m – кількість отриманих рівнянь; n – кількість коефіцієнтів апроксимуючої чи інтерполяційної функції.

Коефіцієнти можуть бути обчислені у системі MathCAD за допомогою спеціальних вбудованих у неї функцій: *regress* (VX, VY, n), якщо залежність є поліноміальною, або *genfit*, якщо залежність описується функцією довільного виду.

Аналогічним чином визначається матриця M_3 коефіцієнтів залежності $f_{2i} = E(D)$; $M_3 = m \times n$.

2. За знайденими залежностями знаходяться значення, які приймає фактор E залежно від решти факторів при $C = C_x$ (вектор-стовпець M_4) та при $D = D_x$ (вектор-стовпець M_5).

$$M_4 = \begin{pmatrix} E'_1 \\ E'_2 \\ \dots \\ E'_9 \end{pmatrix} \quad M_5 = \begin{pmatrix} E'_{10} \\ E'_{11} \\ \dots \\ E'_{18} \end{pmatrix}$$

3. Визначення залежностей $f_{3i} = R(E)$.

Вказані залежності встановлюються за принципом, описаним у п. 1. У результаті буде отримана матриця коефіцієнтів $M_6 = m \times n$.

4. За знайденими у п. 3 залежностями обчислюється значення параметра R при значеннях фактора E , заданих матрицями M_4 та M_5 , тобто при $C = C_x$ та $D = D_x$. У результаті будуть отримані матриці M_7 та M_8 .

$$M_7 = \begin{pmatrix} R'_1 \\ R'_2 \\ \dots \\ R'_9 \end{pmatrix} \quad M_8 = \begin{pmatrix} R'_{10} \\ R'_{11} \\ \dots \\ R'_{18} \end{pmatrix}$$

5. З урахуванням проведених перетворень спрощена матриця вихідних даних прийме вигляд:

$$M_9 = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 & E'_1 & E'_{10} & R'_1 & R'_{10} \\ A_1 & B_2 & E'_2 & E'_{11} & R'_2 & R'_{11} \\ A_1 & B_3 & E'_3 & E'_{12} & R'_3 & R'_{12} \\ A_2 & B_1 & E'_4 & E'_{13} & R'_4 & R'_{13} \\ A_2 & B_2 & E'_5 & E'_{14} & R'_5 & R'_{14} \\ A_2 & B_3 & E'_6 & E'_{15} & R'_6 & R'_{15} \\ A_3 & B_1 & E'_7 & E'_{16} & R'_7 & R'_{16} \\ A_3 & B_2 & E'_8 & E'_{17} & R'_8 & R'_{17} \\ A_3 & B_3 & E'_9 & E'_{18} & R'_9 & R'_{18} \end{pmatrix}$$

6. Визначення залежностей $f_{4j} = R(E)$ при $C = C_x$ та $f_{5j} = R(E)$ при $D = D_x$.

Вказані залежності встановлюються за принципом, описаним у п. 1.

Значення фактора E та параметра R , які вони приймають при $C = C_x$ є елементами матриць M_4 та M_7 відповідно, отже координати інтерполяції для $f_{4j} = R(E)$:

при $A = A_1$: $(E'_1, R'_1), (E'_2, R'_2), (E'_3, R'_3)$;

при $A = A_2$: $(E'_4, R'_4), (E'_5, R'_5), (E'_6, R'_6)$;

при $A = A_3$: $(E'_7, R'_7), (E'_8, R'_8), (E'_9, R'_9)$.

Аналогічно за елементами матриць M_5 та M_8 визначаються координати інтерполяції для $f_{5j} = R(E)$ при $D = D_x$:

при $A = A_1$: $(E'_{10}, R'_{10}), (E'_{11}, R'_{11}), (E'_{12}, R'_{12})$;

при $A = A_2$: $(E'_{13}, R'_{13}), (E'_{14}, R'_{14}), (E'_{15}, R'_{15})$;

при $A = A_3$: $(E'_{16}, R'_{16}), (E'_{17}, R'_{17}), (E'_{18}, R'_{18})$.

Отримані коефіцієнти залежностей можуть бути представлені матрицями M_{10} та M_{11} :

$$M_{10} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{21} & k_{31} \\ k_{21} & k_{22} & k_{32} \\ k_{31} & k_{23} & k_{33} \end{pmatrix} \quad M_{11} = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{21} & l_{31} \\ l_{21} & l_{22} & l_{32} \\ l_{31} & l_{23} & l_{33} \end{pmatrix}$$

7. Визначення залежностей $f_{6g} = R(E)$ при заданій комбінації $C = C_x$ та $D = D_x$.

Згідно з п. 6 залежність $R(E)$ при $A = A_1$ та $C = C_x$ описується поліномом:

$$R(E) = k_{11} + k_{21} \cdot E' + k_{21} \cdot E^2. \quad (1)$$

Відповідно при $A = A_1$ та $D = D_x$:

$$R(E) = l_{11} + l_{21} \cdot E' + l_{21} \cdot E^2. \quad (2)$$

Очевидно, що значення, яке приймає фактор E при $A = A_1$, $C = C_x$ та $D = D_x$, можна знайти, прирівнявши вирази (1) та (2). Позначимо його E_1'' .

Аналогічно знаходяться значення E_2'' (при $A = A_2$, $C = C_x$ та $D = D_x$) та E_3'' (при $A = A_3$, $C = C_x$ та $D = D_x$).

Значення параметра R_1'' може бути знайдено шляхом підстановки E_1'' у рівняння (1) або (2). За тим самим принципом обчислюються значення R_2'' та R_3'' .

Таким чином, визначені координати інтерполяції для встановлення залежності $f_{6g} = R(E)$ при комбінації факторів $C = C_x$ та $D = D_x$: (E_1'', R_1'') , (E_2'', R_2'') , (E_3'', R_3'') . Коефіцієнти інтерполяційного полінома представлені вектор-рядком $M_{13} = (m_1 \quad m_2 \quad m_3)$, тобто отримана залежність матиме вигляд:

$$R = m_1 + m_2 \cdot E + m_3 \cdot E^2.$$

Звідси при $E = E_x$:

$$R_x = m_1 + m_2 \cdot E_x + m_3 \cdot E_x^2.$$

Наведений алгоритм формування математичної моделі може бути повністю автоматизований (наприклад, у системі MathCAD), що дозволить визначати значення цільової функції при заданій комбінації взаємозалежних факторів впливу без проведення проміжних розрахунків.

Висновки

Запропонована методика формування математичних моделей багатофакторних процесів із взаємозалежними факторами впливу. Методика базується на відомих способах моделювання (побудова аналітичних моделей багатофакторних процесів шляхом послідовного виключення факторів, математичне моделювання багатофакторних та багатопараметричних процесів у багатокомпонентних системах на базі конструктивної геометрії, побудова графічних оптимізаційних моделей багатофакторних процесів засобами нарисної геометрії багатовимірного простору) і органічно поєднує їхні елементи. Логіка наведеного алгоритму побудови моделі дозволяє автоматизувати процес її формування за допомогою програмного продукту, розробленого у будь-якій обчислювальній системі.

Література

1. Лапач С. Н. Основные проблемы построения регрессионных моделей / С. Н. Лапач, С. Г. Радченко // Математичні машини і системи. – 2012. – № 4. – С. 125–133.
2. Вертинская Н. Д. Математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах на базе конструктивной геометрии : лекции / Н. Д. Вертинская. – Иркутск : Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2009. – 169 с.
3. Чижик М. А. Алгоритмы конструирования графических оптимизационных моделей многофакторных процессов / М. А. Чижик, К. С. Яковенко, В. Я. Волков // Омский научный вестник. – 2012. – № 1. – С. 17–20.
4. Пастух І. М. Методика обробки даних багатофакторних моделей / І. М. Пастух // Вісник ТУП. – 2002. – № 6. – С. 42–46.

Рецензія/Peer review : 11.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Пастух І.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КАМЕРИ ЗГОРАННЯ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ НА РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМАХ

В статті розглянуто основні питання підвищення екологічної безпеки сучасних стаціонарних газотурбінних двигунів. Розроблено математичну модель діагностики камери згорання з урахуванням основних параметрів експлуатації газотурбінної установки (ГТУ) на різних технологічних режимах, які враховують температуру повітря на вході осевого компресора, температуру робочого тіла на вході в направляючий апарат турбіни високого тиску, а також температуру навколишнього середовища.

Ключові слова: камера згорання, математична модель, газотурбінний двигун, екологічні характеристики, робоче тіло.

O.M. MANDRYK, J.D. MYKHAILIUK
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

RESEARCH OF WORK OF COMBUSTION OF GAS-TURBINE SETTING CHAMBER ON DIFFERENT TECHNOLOGICAL MODES

Abstract - The article presents the basic issues of ecological safety improvement of present-day steady-state gas-turbine units. It has been developed the mathematic model diagnostics of combustion chamber considering the basic parameters of gas-turbine unit (GTU) operation under different technological modes including the intake air temperature of the axial-flow compressor, the intake temperature of the actuating medium of the directing set of the high pressure turbine as well as the temperature of the environment.

Keywords: combustion chamber, mathematic model, gas-turbine engine, ecological characteristics, actuating medium.

Вступ. Проблема зниження токсичності продуктів згорання газоперекачувальних агрегатів (ГПА), що перебувають в експлуатації на компресорних станціях магістральних газопроводів, є складовою програми науково-технічного прогресу газової промисловості [1]. На основі аналізу сучасних способів організації робочого процесу і тенденцій покращення ефективності роботи паливоспалюючих пристроїв вже сформульовані основні вимоги, яким повинні відповідати низькоемісійні камери згорання [2–7]. Для їх впровадження необхідно підвищувати ефективність проектування низькоемісійних камер згорання.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Основними напрямками зниження токсичності продуктів згорання в паливкових системах різного призначення є: застосування підвищених надлишків повітря (В.А. Христин, Г.Н. Любчик, Н.К. Ріск, Д. Велс); використання стадійного горіння (І.Я. Сигал, А.Г. Тумановский, А. Лефер); гомогенізація зони горіння (Г. Леонард, С.М. Кореа); застосування мікрофакельного горіння (С.Д. Сердюк, Н.П. Даниленко, Г.Б. Варламов, А.М. Маркушин, А.М. Постненков, В.П. Савченко); застосування каталітичних технологій горіння (Г.Н. Любчик, Г.С. Марченко, Б.И. Шелковский, С. Вілкес, С.В. Сантанам).

Результати випробувань пристрою фірми Solar (у складі камери згорання ГПА ГТК –10І) [8] показали, що при збільшенні надлишку повітря вище приведеного рівня різко зростає емісія CO. При коефіцієнті надлишку повітря $\alpha \rightarrow 2,0$ концентрація CO у продуктах згорання, приведена до $O_2 = 15\%$, досягає 100 мг/м³, що може бути причиною підвищеного хімічної неповноти згорання палива, а при зменшенні надлишку повітря нижче приведеного рівня не тільки істотно зростає емісія NO_x і CO, але і виникають проблеми, пов'язані з появою вібраційного горіння, зривом і проскакуванням полум'я [8]. Фірма, що використовує дану технологію (Solar, Rolls-Royce, Siemens і ін.), усувають даний недолік за допомогою складних систем регулювання складу суміші в зоні горіння, застосування змінної геометрії камер згорання і проточної частини компресора.

Математичне моделювання робочих процесів у камерах згорання розглядаємо як один із перспективних методів, який дозволяє зменшити вартість дослідних робіт. Зокрема, розроблена Г. Б. Мостіпаненко [9] математична модель тривимірних хімічно реагуючих потоків, дає можливість прогнозувати вихідні температурні й екологічні характеристики камер згорання, що працюють на газоподібному паливі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

На жодній з ділянок газового тракту газотурбінного агрегату не вимірюється ні витрата повітря, ні робочого тіла. Більш того, реєстрація витрати існуючими методами неприпустима, оскільки це призводить до гідрравлічних втрат, що знизить потужність і економічність циклу. Єдиною витратою, яку можна вимірити на практиці, є витрата паливного газу. Очевидно, відомим можна вважати його компонентний склад.

Метою дослідження є розробка математичної моделі діагностики камери згорання з урахуванням основних параметрів експлуатації ГТУ на різних технологічних режимах, які відрізняються температурою повітря на вході осевого компресора, температурою робочого тіла на вході в направляючий апарат турбіни високого тиску, а також температурою навколишнього середовища.

Висвітлення основного матеріалу

Камера згорання газотурбінної установки призначена для приготування робочого тіла, яке в процесі

розширення на лопатках турбіни виконуватиме корисну роботу. З цієї метою в камері згорання відбувається процес горіння газового пального в середовищі первинного повітря з утворенням чистих продуктів згорання і процес їх змішування з вторинним повітрям для досягнення допустимої температури робочого тіла. Тому склад робочого тіла може бути умовно представлений у вигляді суміші чистих продуктів згорання з вторинним повітрям. Для характеристики робочого тіла вводять поняття коефіцієнту надлишку повітря α , який є відношенням сумарної витрати повітря (первинного L і вторинного L_0) до витрати первинного повітря, теоретично необхідного для згорання 1 кг паливного газу [1].

$$\alpha = \frac{L + L_0}{L_0} \quad (1)$$

Теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 кг паливного газу відомого компонентного складу з щільністю r' , може бути розрахована за формулою:

$$L_0 = \frac{1,293}{21\rho} [0,5(\text{CO}) + 0,5(\text{H}_2) + 2(\text{CH}_4) + \\ + \sum (m + n/4)(C_m H_n) + 1,5(\text{H}_2\text{S}) - (\text{O}_2)]. \quad (2)$$

Тут символи в дужках означають об'ємні частки кожного компонента в суміші газів.

Надлишок повітря в камері згорання в порівнянні з його теоретично необхідною кількістю призводить до охолодження робочого тіла. Коефіцієнт надлишку повітря пов'язаний з максимальною температурою циклу співвідношенням:

$$\alpha = \frac{Q_H^p h_k + C_{\Pi} t_{\Pi} + C_p'' t_3}{L_0 (C_p'' t_3 - C_p'' t_2)}, \quad (3)$$

де C_{Π} , t_{Π} – теплоємність і температура паливного газу.

Не вдаючись у питання визначення теплотворної здатності палива Q_H^p і його теплоємності C_{Π} , зазначимо, що на основі вимірів температур паливного газу t_{Π} , повітря після осьового компресора t_2 і робочого тіла перед газовою турбіною t_3 можна з (3) знайти коефіцієнт надлишку повітря. Тоді масова витрата робочого тіла і повітря може бути виражена через масову витрату паливного газу

$$M'' = \alpha (L_0 + 1) M_{\Pi}, \quad (4)$$

$$M' = \alpha (L_0 - 1) M_{\Pi}, \quad (5)$$

Об'ємна витрата повітря, приведена до умов входу в перший ступінь осьового компресора

$$Q_1 = \frac{L_0 (\alpha - 1) M_{\Pi}}{P_1} 287 T_1 \quad (6)$$

Таким чином, використовуючи (3) і (6), можна для кожного режиму роботи газотурбінного агрегату визначити продуктивність осьового компресора, що дозволить визначити діагностичні ознаки.

Однак для використання рівняння (3) необхідно визначити середні питомі теплоємності повітря C'_m у діапазоні температур (t_1, t_2) і робочого тіла $C''_{p'm'}$ у діапазоні температур (t_4, t_3) . Якщо визначення теплоємності повітря, середньої у відомому діапазоні температур, не викликає утруднень, то визначення середньої масової теплоємності робочого тіла $C''_{p'm'}$ не очевидно, оскільки невідомий склад робочого тіла. Тому для визначення коефіцієнта надлишку повітря варто застосувати метод послідовних наближень. Алгоритм розрахунку такий:

1. У першому наближенні задаються значенням теплоємності робочого тіла $C''_{p'm'}$, що дорівнює теплоємності повітря за тих самих умов

$$C''_{pm} = C'_{pm}. \quad (7)$$

2. По (3) розраховують перше наближення коефіцієнта надлишку повітря.

3. Визначають масову витрату робочого тіла в розрахунку на 1 кг витрати паливного газу

$$M'' = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{N}_2} + M_{\text{O}_2}, \quad (8)$$

де

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{0,44}{22,4} [(\text{CO}_2) + (\text{CO}) + \sum m(C_m H_n)], \\ M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0,18}{22,4} [(\text{H}_2) + 2(\text{CH}_4) + \sum \frac{n}{2}(C_m H_n)], \\ M_{\text{N}_2} = 0,769 L_0 \alpha^{(1)}, \\ M_{\text{O}_2} = 0,231 L_0 (\alpha^{(1)} - 1). \quad (9)$$

4. Визначають масові частки кожного з зазначених компонентів у робочому тілі:

$$\begin{aligned} m_{\text{CO}_2} &= M_{\text{CO}_2} / M'; & m_{\text{H}_2\text{O}} &= M_{\text{H}_2\text{O}} / M''; \\ m_{\text{O}_2} &= M_{\text{O}_2} / M'; & m_{\text{N}_2} &= M_{\text{N}_2} / M''. \end{aligned} \quad (10)$$

5. Розраховують теплоємність робочого тіла:

$$C_{pm}' = m_{\text{CO}_2} C_{pm}^{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}} C_{pm}^{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{O}_2} C_{pm}^{\text{O}_2} + m_{\text{N}_2} C_{pm}^{\text{N}_2}. \quad (11)$$

6. По (3) уточнюють значення коефіцієнта надлишку повітря і виконують розрахунки до досягнення заданої точності ε :

$$|\alpha^{i-1} - \alpha^i| < \varepsilon_0. \quad (12)$$

Складність процесів, що відбуваються в камері згорання, вимагає прийняття ряду припущень при формалізації. Так, для вузького діапазону зміни коефіцієнта надлишку повітря в зоні горіння камери згорання можна припустити, що температура горіння не залежить від надлишку повітря і є постійною.

Якщо вважати відомим тиск і температуру повітря після осьового компресора, а також витрати повітря і паливного газу, то для процесу руху в камері згорання можна записати таку систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} + \frac{c^2}{F} \left(\frac{dM'}{dx} + ML_0(a+1)d(x-x_0) \right) = 0, \\ \frac{dP}{dx} + (x_k / 2pF^2)M^2 + \frac{1}{F} \frac{dM}{dt} = 0, \\ \frac{dM}{dt} + \frac{M'}{r'F} \frac{dT}{dx} + \frac{ML_0(a+1)C_p'}{p''C_p''F} T_2 d(x-x_0) - a \frac{d^2T}{dx^2} - \frac{pD(T_0-T)}{p''C_p''F} = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Зазначеними рівняннями задається зв'язок між основними параметрами робочого тіла (тиском P , температурою T і масовою витратою M) для різних моментів часу t і різних ділянок камери згорання, що характеризуються лінійною координатою x . На границі зони горіння і зони змішування ($x=x_0$) спостерігається ступінчате збільшення витрати, викликане подачею вторинного повітря з витратою M_1 . Таким чином, витрати робочого тіла як функція лінійної координати може бути виражена рівнянням

$$M = M_r(L_0 + 1) + M \dot{L}_0(a-1)s(x-x_0), \quad (14)$$

де L_0 – теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 кг палива;

a – коефіцієнт надлишку повітря;

$s(x-x_0)$ – одинична функція Хевісайда;

$$s(x-x_0) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x > x_0 \\ 0, & \text{якщо } x < x_0 \end{cases} \quad (15)$$

Для моделювання ступінчатої зміни витрати температури в точці подачі вторинного повітря ($x=x_0$) у рівняннях використана функція джерела Дірака $d(x-x_0)$.

Варто врахувати також, що для деяких типів камер згорання діаметр D і площа перетину F можуть змінюватися по лінійній координаті x .

Щільність повітря r' , робочого тіла r'' і чистих продуктів згорання r при робочих умовах у камері згорання можуть бути виражені через тиск і температуру

$$r' = \frac{P}{R'T}, \quad r'' = \frac{P}{R''T}, \quad r = \frac{P}{RT}. \quad (16)$$

Таким чином, система (13) представляє замкнену систему диференціальних рівнянь, що зв'язують параметри роботи камери згорання з її характерними розмірами і фізичними властивостями робочого тіла. У систему входять також коефіцієнт гідравлічного опору камери згорання x_k і коефіцієнт теплообміну з навколишнім середовищем K . Практика експлуатації газотурбінних агрегатів показала, що саме ці коефіцієнти відбивають реальний стан камери згорання. Отже, коефіцієнт гідравлічного опору камери згорання і повний коефіцієнт теплообміну з навколишнім середовищем K можуть бути використані як діагностичні ознаки.

Спрощення математичної моделі наведеної у формулі (13) для стаціонарного режиму виконано шляхом поділу газодинамічних і термодинамічних процесів.

Для стаціонарного газодинамічного процесу в камері згорання рівняння руху може бути представлено у вигляді:

$$\frac{dP}{dx} = - \frac{\varepsilon_k M'^2}{2DpF^2}. \quad (17)$$

Витрата робочого тіла може бути визначена через вимірювану витрату паливного газу M_r і коефіцієнт надлишку повітря в камері згоряння, розрахований за методикою, наведеною вище

$$M'' = a(L_0 + 1)M_{II}. \quad (18)$$

По розрахованому складу робочого тіла визначається його газова постійна з залежності

$$\frac{1}{R''} = \sum_{i=1}^4 \frac{m_i}{R_i}, \quad (19)$$

де m_i , R_i – масові частки i -го компонента в робочому тілі і його газова постійна. Середні тиск і температура в зоні змішування визначаються як середні арифметичні

$$P_c = \frac{1}{2}(P_2 + P_3), \quad (20)$$

де P_2, P_3 – тиски на вході і виході камери згоряння, що визначаються шляхом вимірів; T_{2L} – температура повітря на вході в зону змішування камери згоряння, принцип визначення якої буде викладено нижче; T_3 – виміряна температура на виході з камери згоряння.

Тоді густина робочого тіла при середніх умовах у камері згоряння визначиться з рівняння стану

$$P_c = (P_2 + P_3)/2; \quad T_c = (T_{2L} + T_3)/2, \quad \rho = \frac{P_c}{R''T_c} \quad (21)$$

Розв'язок (17) представляється у вигляді

$$\frac{P_2 - P_3}{L} = \frac{\xi_k M''^2}{2\rho F^2}, \quad (22)$$

де L, F – відповідно довжина і площа перетину камери згоряння.

З (22) може бути визначений коефіцієнт опору камери згоряння у вигляді

$$x_k = 2rF^2(P_2 - P_3)/(LM''^2) \quad (23)$$

Стаціонарний теплообмін робочого тіла, що рухається в жаровій трубі після зони змішування, з потоком вторинного повітря в умовах протитоку має вигляд

$$K_1 p D (T_3(x) - T_2(x)) dx = M'' c_p'' dT_3(x), \quad (24)$$

де K_1 – коефіцієнт теплопередачі від робочого тіла до повітря; D – діаметр жарової труби (приведений); $M'' = M_{II}(L_0 + 1)a$ – масова витрата робочого тіла; C'' – теплоємність робочого тіла при температурі T_3 .

Стаціонарний теплообмін вторинного повітря з робочим тілом і навколишнім середовищем може бути описаний рівнянням:

$$K_1 \pi D (T_3(x) - T_2(x)) dx - K_2 \pi D_0 (T_2(x) - T_0(x)) dx = M' C_p' dT_2, \quad (25)$$

де K_2 – коефіцієнт теплопередачі від вторинного повітря в навколишнє середовище через обшивку з приведеним діаметром D_0 при температурі навколишнього середовища T_0 ; C_p – теплоємність повітря при температурі T_2 .

Рівняння балансу тепла для зони горіння має вигляд:

$$T_{30} C_p'' (\alpha L_0 + 1) = \alpha L_0 C_p' T_{2L} + (\alpha_1 L_0 + 1) C_p T_{03}, \quad (26)$$

де T_{30} – температура робочого тіла на вході в зону змішування; T_{03} – температура факела в зоні горіння; T_{2L} – температура первинного повітря на вході в зону горіння, що надходить з коефіцієнтом надлишку α_1 ; C_p – теплоємність продуктів згоряння при температурі T_{03} .

Спільне рішення рівнянь (23) – (25) при заданих температурі вторинного повітря на вході в камеру згоряння T_2 і температурі робочого тіла на вході в лопаті направляючого апарата турбіни високого тиску T_3 може бути представлено у вигляді:

$$\begin{aligned} & (((T_{2i} - T_{0i}) / (1 - W_T (K_T / W_m + K_0 / W_{II}) - \sqrt{(K_T / W_m + K_0 / W_m) - 4K_0 K_T / W_T W_{II}}) / \\ & 2K_T + T_{0i}) C_p'' (\alpha L_0 + 1) - (\alpha L_0 + 1) C_p T_{03} / \alpha L_0 - T_{0i} = 1 - W_T (K_T / W_m + K_0 / W_{II}) - \\ & \sqrt{(K_T / W_m + K_0 / W_m) - 4K_0 K_T / W_T W_{II}} / 2K_T) (T_{3i} - T_{0i} - (\alpha_1 L_0 + 1) C_p T_{03} / \alpha L_0 - \\ & T_{0i} (\exp(-((K_T / W_m + K_0 / W_{II}) + \sqrt{(K_T / W_m + K_0 / W_m) - 4K_0 K_T / W_T W_{II}})) \frac{L}{2} - \\ & (\exp(-((K_T / W_m + K_0 / W_{II}) - \sqrt{(K_T / W_m + K_0 / W_m) - 4K_0 K_T / W_T W_{II}})) \frac{L}{2})), \end{aligned} \quad (27)$$

де W_{π}, W_{τ} – водяні еквіваленти повітря і робочого тіла відповідно;

$$W_{\pi} = C_p M' \quad W_{\tau} = C_p'' M''; \quad (28)$$

W_m – змішаний водяний еквівалент;

$$W_m = W_{\pi}'' W_{\tau} / (W_{\pi} + W_{\tau}), \quad (29)$$

K, K_0 – приведені коефіцієнти теплопередачі від робочого тіла до вторинного повітря і від вторинного повітря в навколишнє середовище.

Висновки

Запропонована математична модель дозволяє визначити приведені коефіцієнти теплопередачі K_n і K_0 , а також температуру вторинного повітря на вході в зону змішування камери згорання T_{2L} , якщо відомі параметри експлуатації ГТУ на трьох режимах. При цьому технологічні режими, по параметрах яких проводиться діагностика камери згорання, відрізняються температурою повітря на вході осьового компресора, температурою робочого тіла на вході в направляючий апарат турбіни високого тиску, а також температурою навколишнього середовища. Крім того, виконуються умови стаціонарності роботи ГТУ на кожному з режимів.

Таким чином, наведена математична модель процесів горіння камери згорання дасть можливість не тільки визначити основні характеристики камери згорання, але і проводити дослідження основних технологічних режимів щодо зменшення викидів забруднюючих речовин прилеглих територій КС.

Такий підхід дозволить провести різноманітні розрахунки й дослідження, а також визначити номінальні показники викидних продуктів згорання та побудувати екологічні характеристики на різних робочих режимах ГТУ.

Література

1. Патон Б. Концепція (проект) державної науково-технічної програми «Створення промислових газотурбінних двигунів нового покоління для газової промисловості та енергетики» / Б. Патон, А. Халатов, Д. Костенко, Б. Білека, О. Письменний, А. Боцула, В. Парафійник, В. Коняхін // Вісник НАН України. – 2008. – № 4. – С. 3–9.
2. Романовський Г.Ф. Камери згорання суднових газотурбінних двигунів : навчальний посібник / Романовський Г.Ф., Сербін С.І. – Миколаїв : УДМТУ, 2000. – 259 с. – ISBN 5-87848-019-0.
3. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ / Постников А.М. ; под ред. Гриценко Е.А. – Самара : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2002. – 286 с. – ISBN 5.93424-081-1.
4. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД / Лефевр А. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1986. – 566 с.
5. Христич В.А. Газотурбинные двигатели и защита окружающей среды / Христич В.А., Тумановский А.Г. – К. : Техника, 1983. – 144 с.
6. Willis J.D. Industrial RB211 DLE Gas Turbine Combustion Update / Willis J.D., Moran A.J. // ASME, 2000. – GT2000-109. – 6 p.
7. NOx Emissions Reduction in an Innovative Industrial Gas Turbine Combustor (GE10 Machine): A Numerical Study of the Benefits of a New Pilot System of Flame Structure and Emissions / [A. Andreini, B. Facchini, L. Mangani A. Asti, G. Ceccherini, R. Modi] // ASME, 2005. – GT2005-68364. – 13 p.
8. Wilkes C., Mongia H.C., Santanam C.B. An ultra – low NOX combustion system for a 3,5 MW industrial gas turbine // ASME Pap. – 1990 №GT – 83. P. 1–7.
9. Мостіпаненко Г. Б. Вдосконалення характеристик камери згорання газотурбінного двигуна з використанням методів тривимірного моделювання [Електронний ресурс] / Г. Б. Мостіпаненко, С. І. Сербін // Вісник Національного університету кораблебудування : електронне видання. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2010. – № 1. – Режим доступу : <http://ev.nuos.edu.ua>
10. Шнез Я.И. Теория газовых турбин / Шнез Я.И. – М. : Машиностроение, 1979.

Рецензія/Peer review : 16.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Олійник А.П.

Рецензент: д.т.н., проф. Банахевич Ю.В.

ПОБУДОВА МОДЕЛІ СИСТЕМИ СТАНДАРТІВ НА ПІДСТАВІ МІЖНАРОДНИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ У СФЕРІ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

В роботі визначені ключові зв'язки між обов'язковими вимогами стосовно відповідності продукції виробничо-технічного призначення, побудована модель системи стандартів. В результаті аналізу міжнародних та європейських вимог стосовно оцінки відповідності продукції виробничо-технічного призначення запропонована модель системи стандартів.

Ключові слова: система технічного регулювання, модель системи стандартів, продукція виробничо-технічного призначення.

Y.O. YEVSTAFIEVA, K.O. DYADYURA

Sumy State University

STRUCTURE OF STANDARD SYSTEM MODEL ON THE GROUND OF INTERNATIONAL AND EUROPEAN REQUIREMENTS IN THE SPHERE OF TECHNICAL REGULATION

Abstract: Key relations between compulsory requirements concerning compliance of industrial and technological products are determined in the paper, standard system model is built. As a result of analysis of international and European requirements concerning compliance evaluation of industrial and technological products, standard system model is offered.

Keywords: technical regulation system, standard system model, industrial and technological products.

Вступ

Реформування системи технічного регулювання в Україні продовжується, створюються умови для того, щоб вітчизняна продукція могла вільно переміщуватися як на світовому, так і на європейському ринках.

Згідно зі статтею 1 Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [1], прийнятого у 2015 році, термін «технічне регулювання» вживається у такому значенні: правове регулювання відносин у сфері визначення та виконання обов'язкових вимог до характеристик продукції, або пов'язаних з ними процесів та методів виробництва, а також перевірки їх додержання шляхом оцінки відповідності та/або державного ринкового нагляду і контролю нехарчової продукції чи інших видів державного нагляду (контролю).

Таким чином, технічне регулювання представлене як сукупність законодавчих актів, нормативних документів і методичних положень, які застосовують у своїй діяльності органи державного нагляду та спеціалізовані установи, що контролюють (оцінюють) дотримання обов'язкових вимог щодо продукції, процесів і залучених до цього ресурсів.

Механізм технічного регулювання включає: законодавчу базу, стандарти, процедури підтвердження відповідності, державний ринковий нагляд за дотриманням обов'язкових вимог. У світовій практиці процедури стандартизації застосовують дві категорії технічних вимог, що поширюються на види продукції, а не на окремі товари, – обов'язкові й добровільні. У зв'язку з чим, здоров'я і безпека споживачів, включаючи інформування споживача є обов'язковими вимогами, а такі параметри продукції як якість, надійність, міцність тощо включають в себе добровільні стандарти.

Аналіз робіт

Основні аспекти безпеки та важливі пріоритети у відносинах між Україною та Європейським Союзом аналізував Сауляк Т. А. [2]. В роботі сформульовані параметри та перспективи діалогу в галузі юстиції та внутрішніх справ, але не розглянута галузь технічного регулювання України та можливі технічні бар'єри при експорті вітчизняної продукції за кордон.

Процес оцінки відповідності вимогам технічних регламентів досліджувався Антоненко Т.С., Тіхенко В.М., а саме удосконалення нормативної бази щодо процесу оцінки відповідності вибухозахисного обладнання шляхом розробки системи нормативних та методичних документів, проте запропоноване вирішення проблеми спрямоване на окремий вид продукції виробничо-технічного призначення, тобто має більш вузьке застосування [3].

Однією з останніх подій стосовно технічних бар'єрів стала, **18 березня 2015 року** в КНТЕУ Міжнародна науково-практична конференція «Україна та ЄС: подолання технічних бар'єрів у торгівлі». В порядок денний конференції складався з актуальних питань: серед них і новації законодавства України в сфері технічного регулювання та перспективи їх впровадження в контексті Угоди про асоціацію з ЄС. Учасниками Міжнародної конференції стали представники державних і громадських організацій в галузі торгівлі, підприємництва, виробництва товарів, консумеризму, експертизи, освіти, наукової діяльності та ін.

Постановка завдання

Сьогодні в умовах жорстокої конкуренції бізнесу у світі багато підприємств прагнуть не лише закріпити свої досягнення на ринку продукції та послуг, а перейти на новий якісний рівень розвитку своєї діяльності. Особливо непросто в цій ситуації малим і середнім підприємствам, де конкуренція найбільш

висока.

Інструменти підтвердження відповідності повинні бути відпрацьовані так, щоб вони давали можливість отримати достовірний відповідь на питання про відсутність (наявність) недопустимого ризику в тій чи іншій техніці.

Для вдосконалення названих інструментів підтвердження відповідності машин і устаткування, а також методів їх застосування слід розвивати відповідні теорії.

Можна помітити, що як в популярній так і в спеціальній літературі поняття інформації рідко оговорюється без попереднього введення деякої кількісної міри інформації, але навіть якщо й так, то більшість моделей зрештою формулюються в термінах теорії ймовірності або теорії множин в контексті певного класу систем. Тому властивості інформації і сфера її застосувань залежать від математичної форми цієї кількісної міри, і, в основному, вивчаються і використовуються кількісні ние властивості деякої приватної заходи інформації, але не саме якісне поняття інформації [4].

Таким чином, ми маємо протиріччя між фундаментальним характером поняття інформації, різноманітністю її приватних кількісних заходів (які фактично використовуються як різні визначення), і, з іншого боку, відсутністю спроб співвіднести різні "інформації" один з одним.

На рис. 1 представлено взаємозалежне нормативно-методичне забезпечення управління якістю, як порушення симетрії в розглянутій системі, всі її кількісні міри являють собою міри порушених симетрій. Всі об'єкти (європейські директиви, міжнародні стандарти) та системи (зв'язки моделі системи стандартів), що розглядаються, неминуче мають обмеження на їх симетрію, тому вони повинні містити в собі деяку асиметрію, тобто інформацію.

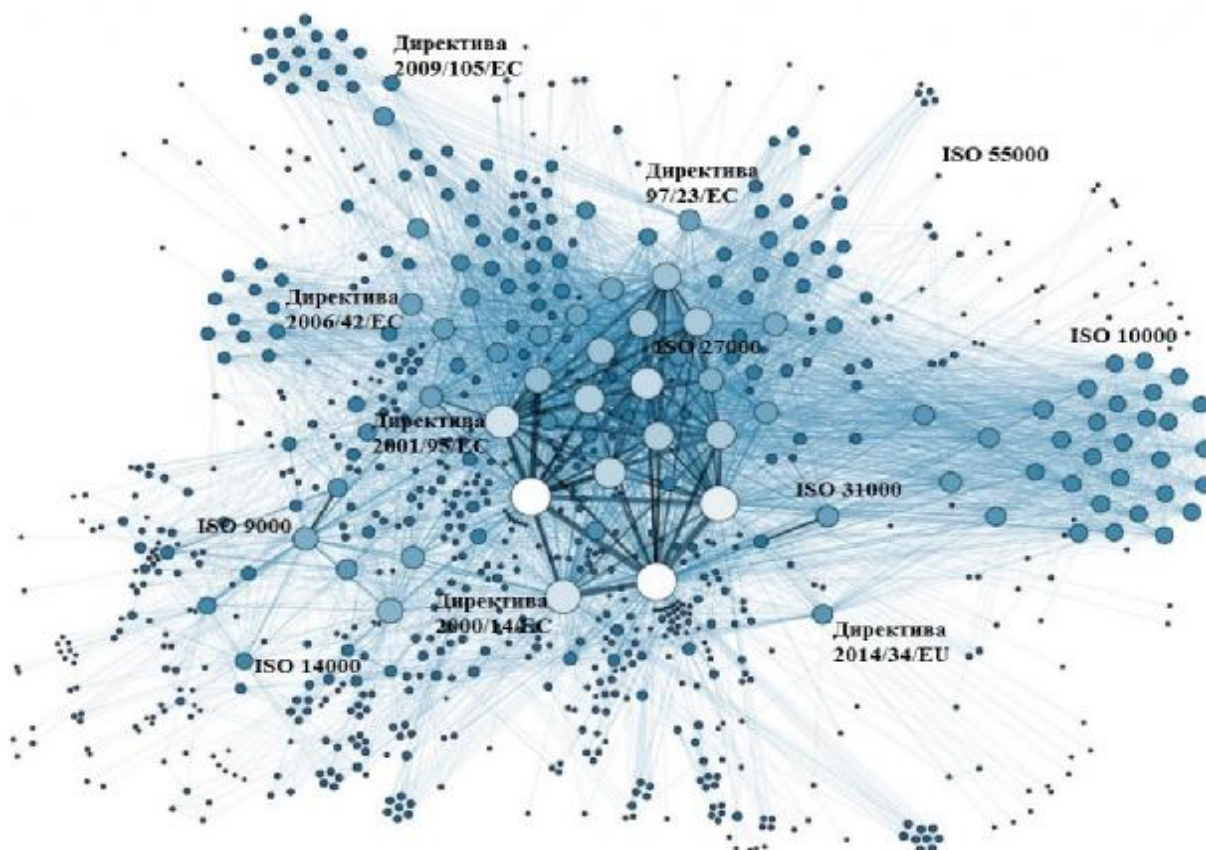


Рис. 1. Взаємозалежне нормативно - методичне забезпечення управління якістю

У даній статті розглядається системний підхід до застосування стандартів відповідно технічних регламентів за допомогою моделі системи стандартів.

Результати дослідження

Властивістю більшості європейських директив є те, що вони містять, як правило, кращі національні стандарти окремих європейських країн. Політика комітетів з європейської стандартизації полягає в тому, щоб максимально застосовувати вимоги Міжнародних стандартів ISO в якості регіональних, європейських директив. Практично всі європейські країни вживають в останні роки свої національні стандарти на базі єдиних директив Євросоюзу. Майже все технічне законодавство ЄС представлено в даний час постановами Ради, директивами Євросоюзу (його Ради).

У таблиці 1 наведена коротка характеристика міжнародних та європейських нормативних документів, що розглядаються як базові елементи моделі системи стандартів для оцінки відповідності продукції виробничо-технічного призначення.

Таблиця 1

Коротка характеристика нормативних документів

Позначення	Найменування	Призначення
1	2	3
<i>Міжнародні</i>		
Серія ISO 9000	Системи менеджменту якості	Серія міжнародних стандартів, що описують вимоги до системи менеджменту якості організацій і підприємств
Серія ISO 10000	Менеджмент якості (доповнює окремі аспекти ISO 9000)	Стандарти системи якості, які застосовують тоді, коли організація прагне вдосконалити систему якості за напрямками, що містяться в стандарті.
Серія ISO 14000	Системи екологічного менеджменту	Стандарти цього сімейства створені з метою контролю над виробництвом і бізнесом в рамках дотримання вимог безпеки навколишнього середовища. Ця система сьогодні є невід'ємною складовою частиною вимог Європейського союзу до екологічному менеджменту.
Серія ISO 27000	Системи менеджменту інформаційної безпеки	ISO 27001 встановлює вимоги до системи менеджменту інформаційної безпеки для демонстрації здатності організації захищати свої інформаційні ресурси. Цей стандарт підготовлений в якості моделі для розробки, впровадження, функціонування, моніторингу, аналізу, підтримки та поліпшення Системи Менеджменту Інформаційної Безпеки.
Серія ISO 31000	Менеджмент ризиків	Стандарт ISO 31000 рекомендується організаціям для розробки, впровадження та постійного поліпшення системи управління ризиками в якості невід'ємної складової системи управління. ISO 31000 є практичним документом, який спрямований на надання допомоги організаціям в розробці їх власних підходів до управління ризиками.
Серія ISO 55000	Менеджмент активів	Міжнародні стандарти з управління активами серії ISO 55000 спрямовані на поліпшення фінансових результатів, оптимізацію прийняття інвестиційних рішень, керованість ризику, стійкість розвитку, поліпшення ефективності діяльності організацій.
<i>Європейські</i>		
Директива 2006/42/EC	Безпека машин і устаткування	Директива 2006/42/EC встановлює єдиний рівень безпеки, забезпечуючи вільний рух товарів. Директива по машинному обладнанню по суті регулює основні вимоги з охорони здоров'я та безпеки праці, визначає, що є машиною, описує прийнятні процедури сертифікації, CE маркування та декларації відповідності, сертифіката відповідності і визначає вимоги до інспекції.
Директива 97/23/EC	Системи і установки, які працюють під тиском	Директива 97/23/EC, що стосується обладнання, яке працює під тиском застосовується до проектування, виробництва та оцінки відповідності устаткування і складальних одиниць, що працюють під тиском, з максимально допустимим тиском PS, що перевищує 0,5 бар.
Директива 2000/14/EC	Емісія шуму від обладнання, що працює поза будівлями	Виконання положень по Директиві 2000/14/EC є обов'язковими на території всіх країн Європейського Союзу. Директива 2000/14/EC застосовується до 57 типів обладнання, які використовуються поза приміщеннями і для даного устаткування потрібні випробування на визначення рівня шуму.
Директива 2014/34/EU	Обладнання, призначене для роботи у вибухонебезпечному середовищі	Директива 2014/34/EU для обладнання, використовуваного у вибухонебезпечних середовищах визначає порядок застосування на виробництві та допуску на ринок обладнання, що представляє підвищену вибухонебезпечність. Директива 2014/34/EU містить основні вимоги до безпеки обладнання, які повинні бути дотримані при його виробництві і сертифіковані відповідним чином.

Продовження табл. 1

1	2	3
Директива 2009/105/ЄС	Прості сосуди, що працюють під тиском	Директива 2009/105/ЄС поширюється на прості сосуди, які працюють під тиском, або спеціальні камери, які виробляються серійно. Директива 2009/105/ЄС визначає простий посуд під тиском, як "будь-який зварний посуд з тиском, який перевищує 0,5 бар, призначений для зберігання повітря або азоту". Тільки ті сосуди, щодо яких вироблення максимального робочого тиску (PS), помножене на об'єм (V), перевищує значення 50, можуть мати маркування CE відповідно до цієї Директиви, і бути згодом розміщеними на території Європейського Союзу. Ці сосуди повинні відповідати основним вимогам безпеки, викладеним у Додатку I до Директиви.
Директива 2001/95/ЄС	Загальна безпека продукції в країнах Європейського Союзу.	Директива 2001/95/ЄС встановлює загальний обов'язок для всіх виробників випускати на ринок Європейського Союзу безпечну продукцію для людини і навколишнього середовища.

Завдання системи якості, які необхідно виконати, визначають стандарти серії ISO 9000, проте вони не описують способу їх досягнення та надають такий вибір керівництву підприємства. У стандартах дається відмінність між вимогами до системи якості та вимогами до продукції.

Систему якості виготовлення продукції необхідно розробляти з урахуванням виконання вимог стандарту ISO 9001, тому що вони універсальні і підходять для будь-якого виду виробництва [5].

Наприклад, сертифікація ISO 9001: 2008 – систем менеджменту якості – добровільний стандарт. Даний стандарт не обов'язковий при проведенні процедури сертифікації СЕ. Систему якості, яка повинна вводитися при виробництві певної продукції, не зобов'язана відповідати стандарту ISO 9001, а зобов'язана відповідати гармонізованого стандарту (європейському), який застосовувався при проектуванні і випуску конкретної продукції і в якому визначена дана система якості, яка має стосунок саме до даної продукції та до конкретного європейського стандарту. Система якості, яка визначається конкретним гармонізованим стандартом для конкретного виробництва і конкретної продукції, передбачена і вводиться в тих випадках, коли продукція підпадає під певні модулі, передбачені Рішенням [6]:

- Модуль D – відповідність типовому зразку на основі забезпечення якості виробничого процесу.
- Модуль D1 – забезпечення якості виробничого процесу.
- Модуль E – відповідність типовому зразку на основі забезпечення якості продукції.
- Модуль E1 – забезпечення якості остаточного контролю продукції та випробувань.
- Модуль H – відповідність на основі повного забезпечення якості.
- Модуль H1 – відповідність на основі повного забезпечення якості та контролю проектування.

Законодавством Європейського Союзу передбачені також інші схеми сертифікації (модулі), проте вони не мають на увазі введення обов'язкової системи якості. Ввести будь-яку систему якості виробник має право на свій розсуд.

На практиці, успіх організації залежить від задоволеності споживачів організацією та її продукцією. Про важливість цього спостереження свідчить той факт, що проблемі задоволеності споживачів присвячені міжнародні стандарти серії ISO 10000.

Задоволеність споживачів – сприйняття замовником ступеня виконання його вимог. Скарги споживачів є загальним показником низького ступеня задоволеності, проте їх відсутність не обов'язково передбачає високий ступінь задоволеності споживачів. Навіть якщо вимоги замовника були з ним обговорені і виконані, це не обов'язково забезпечує повну його задоволеність.

Стандарти серії ISO 14000 добровільні у виконанні. Вони не замінюють вимоги законодавства, проте забезпечують систему визначення того, як підприємство впливає на навколишнє середовище і як виконуються вимоги законодавства.

Система стандартів ISO 14000, на відміну від багатьох інших природоохоронних стандартів, орієнтована не на кількісні параметри (обсяг викидів, концентрації речовини і т.п.) і не на технології (вимога використовувати або не використовувати певні технології, вимога використовувати "найкращу доступну технологію"). Основним предметом ISO 14000 є система екологічного менеджменту – environmental management system (EMS). Типові положення цих стандартів полягають у тому, що в організації повинні бути введені і дотримуватися певні процедури, повинні бути підготовлені певні документи, повинен бути призначений відповідальний за певну область. Основний документ серії – ISO 14001 – не містить ніяких "абсолютних" вимог до впливу організації на навколишнє середовище, за винятком того, що організація в спеціальному документі повинна оголосити про своє прагнення відповідати національним стандартам.

Оскільки вимоги ISO 14000 багато в чому перетинаються з ISO 9000, можлива полегшена

сертифікація підприємств, які вже мають ISO 9000.

Будь-яке підприємство зобов'язане дбати про збереження своїх інформаційних ресурсів – не важливо, чи йде мова про електронні системи зберігання даних або про паперовий документообіг.

Система сертифікації ISO 27001 встановлює такі критерії безпеки інформації, як її конфіденційність, цілісність, справжність, неможливість відмовитися від авторства, і багато інших.

Стандарт ISO 27001 регулює такі аспекти роботи з інформацією, як управління інформаційними ресурсами, політика безпеки на підприємстві, контроль доступу користувачів до інформаційних ресурсів, принципи придбання, розробки та підтримки інформаційних систем, способи забезпечення безперервності бізнес-процесів і багато інших.

У діяльності будь-якого підприємства завжди існує якась частка невизначеності в досягненні цілей. Вона може бути викликана безліччю зовнішніх або внутрішніх факторів. Під ризиками розуміється результат впливу цієї невизначеності на життєздатність, успішність компанії. ISO 31000 Менеджмент ризиків для того і був введений, щоб будь-яка комерційна організація могла отримати ефективний інструмент для управління ризиками.

В цілому, директиви стандарту підходять для будь-яких організацій – державних, приватних фірм або навіть індивідуальних підприємств. Стандарт гнучкий і ефективний.

Гарантією надійності та розсудливості підприємства і його керівництва може виступати впровадження ISO 31000, що викликає більшу довіру у клієнтів і партнерів. Все це безпосередньо веде до істотно більших можливостей в пошуку надійних партнерів по бізнесу, виграних тендерів та інших вигод.

Важливим є те, що стандарт ISO 31000 з легкістю може інтегруватися і нічим не суперечить іншим стандартам ISO. Його впровадження буде корисно будь-якій комерційній організації незалежно від сфери діяльності.

Важливою подією у січні 2014 року в галузі міжнародної стандартизації став випуск нових стандартів серії ISO серії 55000 в галузі управління активами:

- 1) ISO 55000: 2014 «Asset management. Overview, principles and terminology»;
- 2) ISO 55001: 2014 «Asset management. Management systems. Requirements»;
- 3) ISO 55002: 2014 «Asset management. Management systems. Guidelines for the application of ISO 55001».

Таким чином, в цільову аудиторію стандартів ISO серії 55000 входить практично будь-яка організація, що має активи, і зацікавлена в реалізації цінності цих активів, тобто в управлінні ними. Але крім організацій, які управляють активами, червоною ниткою в стандартах проходять потреби та очікування зацікавлених сторін. Зацікавлена сторона – фізична особа або організація, яка може впливати, або піддаватися впливу, або вважає, що може піддаватися впливу рішень або діяльності. Відповідно до нових стандартів, організація повинна враховувати потреби та очікування зацікавлених сторін при формуванні цілей організації, які потім транслюються в цілі та плани управління активами.

Управління активами у відповідності зі стандартами ISO серії 55000 припускає знаходження балансу між витратами, можливостями, ризиками і необхідною продуктивністю активів.

Стандарт ISO 55001 визначає вимоги для системи управління таким же чином, як ISO 9001 визначає систему управління якістю, а ISO 14001 – до системи управління станом навколишнього середовища. Тому ISO 55001 не є специфікацією для системи обліку та організації матеріальних цінностей, відомої як EAM-система. Однак, EAM-системи визнані найбільш підходящим інструментом для створення надійної системи управління виробничими активами підприємства.

Директива 2006/42/EC Безпека машин і устаткування для машин [7], які розміщуються на ринку в рамках Європейського економічного простору. Директива 2006/42/EC встановлює єдиний рівень безпеки, забезпечуючи вільний рух товарів. Директива 2006/42/EC Безпека машин і устаткування по суті регулює основні вимоги з охорони здоров'я та безпеки праці, визначає, що є машиною, описує прийняті процедури сертифікації, CE маркування та декларації відповідності, сертифікату відповідності і визначає вимоги до інспекції.

При виробництві машин і устаткування, вже на рівні проектування, виготовлювач зобов'язаний визначити потенційні ризики та вжити максимальних зусиль по зниженню цих ризиків. Це основне завдання цієї Директиви, зменшити небезпеку для здоров'я та безпеки людини.

Згідно даної Директиви, виробник зобов'язаний максимально знизити ризики різних факторів, таких як стійкість, вібрація, пожежна безпека, електричних удари, екстремальні температурні режими, небезпека вибуху, шуми, радіація, екстремальна радіація, лазерна радіація, тощо.

У європейській Директиві 2006/42/EC Безпека машин і обладнання чітко визначені вимоги до технічної документації, а саме з оцінки ризиків (розділ Загальні принципи, Додаток I). Крім того, додаток VII Директиви 2006/42/EC вимагає введення оцінки ризиків як частини "технічної документації". Відповідність Директиві в обов'язковому порядку включає документування процедури оцінки небезпеки.

Аби відповідати міжнародним вимогам виробник машин і механізмів повинен оцінити ризики машини відповідно зі стандартами, такими як IEC 61508, EN ISO 62061, ISO 12100, а також EN ISO 13849-1 та EN ISO 13849-2.

Директива 2000/14/ЕС щодо шумів в навколишньому середовищі (емісія шуму від обладнання, що працює поза будівлями) [8] була прийнята Європейським Парламентом та Радою Європи 8 травня 2000 року. Дана Директива зачіпає законодавства країн Європейського Союзу зі зближення національних норм і стандартів щодо рівнів шумів і маркування обладнання на стадії виробництва.

Виконання положень Директиви 2000/14/ЕС з 3 січня 2002 є обов'язковим на території всіх країн Європейського Союзу. Директива 2000/14/ЕС застосовується до 57 типів обладнання, які використовуються поза приміщеннями і для даного устаткування потрібні випробування на визначення рівня шуму.

Вся продукція, яка потрапляє на ринок Європейського Союзу, підпадає під вимоги Директиви 2001/95/ЕС Загальна безпека продукції - Directive 2001/95/EC The General Product Safety Directive (GPSD), яка набула чинності 15 листопада 2002 року. Директива визначає гарантовану безпеку для людини при експлуатації будь-яких видів і категорій продукції.

Директива 2001/95/ЕС встановлює для всіх виробників загальні вимоги і конкретизує різними положеннями вимоги до безпеки продукції та визначає обов'язки держав ЄС з нагляду і контролю за ринком Європейського Союзу [9]. Директива 2001/95/ЕС доповнює законодавство Європейського Союзу з продукції, що не підпадає під Директиви Нового Підходу – Директива 2001/95/ЕС не є директивою Нового Підходу, продукція, що підпадає під її дію повинна відповідати загальним вимогам безпеки.

Директива 2009/105/ЕС, спрямована на створення єдиного європейського ринку [10]. Метою Директиви 2009/105/ЕС (Directive SPVD) є забезпечення правового механізму, який визначає певні мінімальні технічні вимоги для посудин високого тиску, які можуть бути виготовлені і реалізовані в країнах ЄС, це досягається за допомогою забезпечення єдиних стандартів безпеки для всіх країн Європейського Союзу. Продукція, на підставі єдиних вимог, може задовольнити вимоги відповідності в будь-якій державі-члені Європейського Союзу і допускається для реалізації без обмежень, в будь-якій країні ЄС.

Вироби, що виходять за рамки Директиви 2009/105/ЕС прості посудини під тиском, майже напевно підпадають під дію Директиви PED, обладнання під тиском. З 20 квітня 2016 набуває чинності нова Директива з електромагнітної сумісності 2014/29/ЕС.

Директива Простих посудин під тиском 2009/105/ЕС охоплює основні вимоги, але не дає конкретних вимог щодо конструкції та матеріалів, виробництва і тестування. На ці питання можна отримати відповіді шляхом звернення до визнаних національних кодексів і стандартів.

Цистерни, де робочий тиск помножений на місткість перевищує 50 бар/літр повинні задовольняти основні вимоги техніки безпеки, встановлені в Першому Додатку Директиви і отримати відповідну оцінку нотифікованого органу.

Директива 2014/34/EU для устаткування, використовуваного у вибухонебезпечних середовищах визначає порядок застосування на виробництві та допуску на ринок обладнання, що має підвищену вибухонебезпечність [11].

Основним завданням прийняття даної директиви є захист людей, що працюють у вибухонебезпечних середовищах, життю і здоров'ю яких може загрожувати небезпека в результаті вибуху. Таким чином, директива 2014/34/EU містить основні вимоги до безпеки обладнання, які повинні бути дотримані при його виробництві і сертифіковані відповідним чином.

Директива 2014/34/EU поширюється на наступні категорії продукції:

- обладнання та системи захисту, що застосовуються у вибухонебезпечних середовищах;
- системи безпеки, контролю та управління, що застосовуються за межами вибухонебезпечних середовищ, але роблять вплив на захист від вибухів;
- компоненти вищевказаного обладнання.

Залежно від групи і класу вибухозахищеності продукції при сертифікації відповідно до директиви 2014/34/EU можуть застосовуватися різні модулі сертифікації, що передбачають як декларування на підставі власних доказів, так і сертифікацію із залученням нотифікованим лабораторії, проведенням випробувань зразків і контролю умов виробництва і системи менеджменту якості.

Директива 97/23/ЕС, що стосується обладнання, яке працює під тиском застосовується до проектування, виробництва та оцінки відповідності устаткування і складальних одиниць, що працюють під тиском, з максимально допустимим тиском PS, що перевищує 0,5 бар [12].

"Обладнання, що працює під тиском" означає судини, трубопровід, запобіжні власності і власності, що працюють під тиском. Все обладнання під тиском, що надходить до ринку ЄС після травня 2002 повинно відповідати Директиві і нести на собі маркування знаком CE, якщо це доречно до даного устаткування.

Законодавство країн Європейського Союзу вимагає, щоб всі одиниці обладнання під тиском відповідали вимогам Директиви. Таким чином, виробники повинні переглянути свої «виробничі практики» і скласти комплект технічної документації (Технічний Файл) для всіх типів виробів. Директива містить розділи, що охоплюють вимоги до проектування, входного контролю, методам виробництва/виготовлення, кваліфікації персоналу, проведення випробувань, нанесенню маркування та складанню інструкції із застосування.

Компанії, вже сертифіковані за стандартом ISO 9001 можуть використовувати дану перевагу як

основу для використання схеми сертифікації по модулю Н і отримати прискорену сертифікацію.

Аналіз області застосування і змісту міжнародних та європейських нормативних документів дозволяє виявити їх взаємозв'язок у запропонованій моделі системи стандартів (рис. 2).

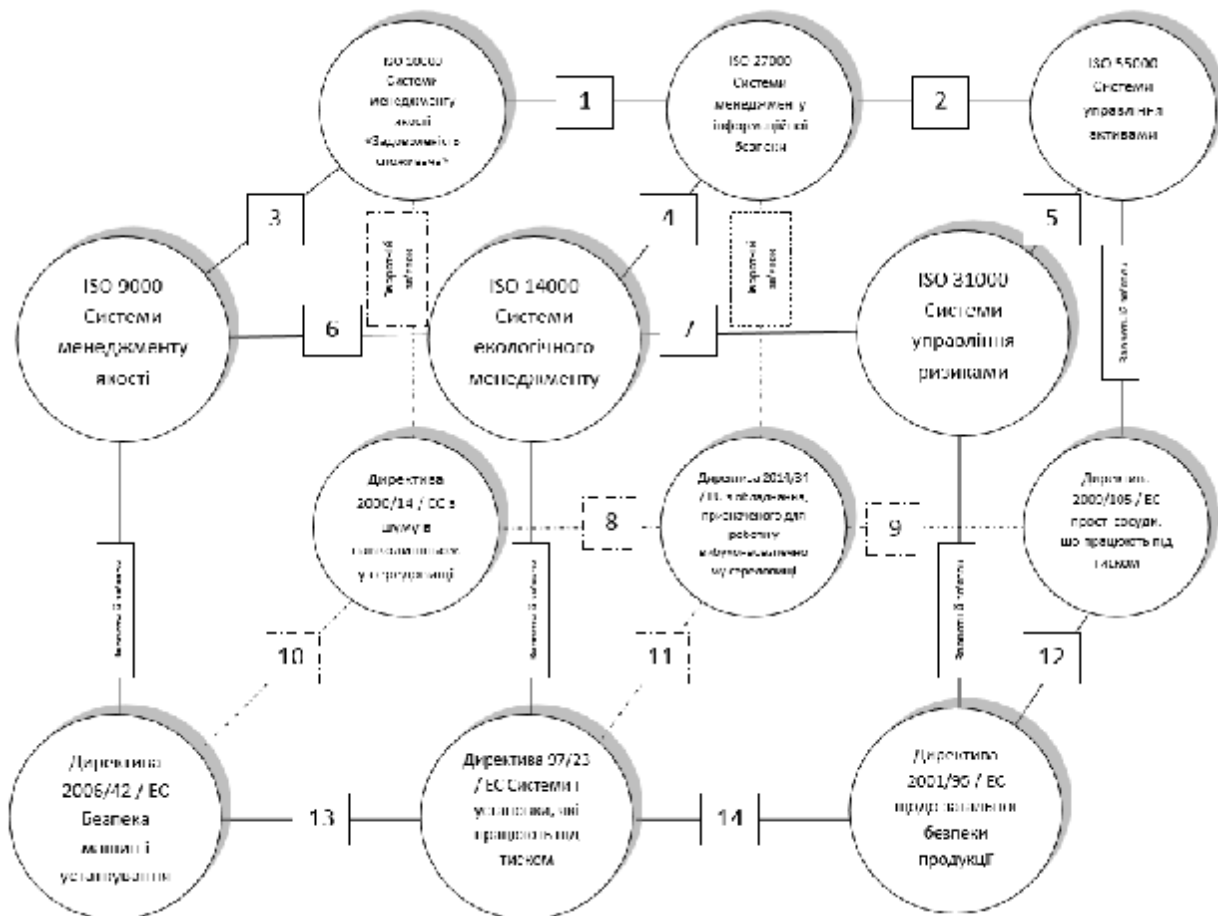


Рис. 2. Модель системи стандартів

Аналізуючи міжнародні та європейські стандарти, можна описати їх зв'язки згідно до запропонованої моделі системи стандартів:

1 – вимоги до забезпечення безпеки інформації, отриманої від споживача, постачальника або інших зацікавлених сторін.

2 – вимоги, що встановлюють баланс між продуктивністю і безпекою активів.

3 – вимоги до СУЯ, які доповнюють окремі аспекти до ISO 9000.

4 – вимоги щодо доступності інформації, можливості її отримання авторизованим користувачем в потрібний для нього час.

5 – вимоги, що урівноважують витрати, можливості, ризики і необхідну продуктивність активів.

6 – вимоги до СУЯ, які дозволяють спрощену систему сертифікації.

7 – вимоги, що дозволяють уникнути ризиків.

8 – вимоги до обладнання, яке призначене для виробництва, передачі, зберігання, вимірювання, контролю та перетворення енергії, яке може створити зайняття вогню та подальшого вибуху.

9 – вимога, що стосується простих камер, посудин під тиском, що вироблені серійно.

10 – вимоги до устаткування, яке працює поза будівлею.

11 – вимоги до обладнання для використання у потенційно вибухонебезпечних середовищах.

12 – загальні вимоги до безпеки продукції.

13 – вимоги до продукції в процесі її проектування, виготовлення та реалізації.

14 – загальні вимоги до безпеки продукції.

Так як європейські директиви будуються на основі міжнародних стандартів, можна вбачати зворотній зв'язок у їх застосуванні на підприємстві.

Висновки

Важливою передумовою для створення системи забезпечення якості на підприємстві, здатної суттєво підвищити конкурентоспроможність вітчизняної продукції виробничо-технічного призначення, є удосконалення системи стандартизації та застосування міжнародних стандартів.

Запропонована модель системи стандартів відображає зв'язки міжнародних стандартів та

європейських директив, що стосуються відповідності продукції виробничо-технічного призначення. Такий підхід позитивно впливатиме на виробництво продукції, її вартість та конкурентоспроможність на міжнародному ринку, навіть незважаючи на те, що міжнародні рекомендації по стандартизації не є обов'язковими для всіх держав. Застосування міжнародних стандартів якості та європейських директив відкриває великі можливості для виходу українських підприємств на міжнародний ринок. Що обов'язково позитивно вплине на ефективність реалізації інноваційних програм, підвищення конкурентоспроможності, інвестиційної привабливості та капіталізації підприємств, та країни в цілому.

Література

1. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15.01.2015 № 124-VIII [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2015. – № 14. – ст. 96. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/124-19>
2. Сауляк Т.А. Безпековий вимір євроінтеграційної політики України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. політ. наук : спец. 23.00.04 / Т.А. Сауляк / НАН України ; Ін-т. світ. Економіки і міжнар. відносин. – К., 2011 – 20 с.
3. Тіхенко В.М. Концептуальний аналіз ситеми технічного регулювання вибухозахищеного обладнання / В.М. Тіхенко Т.С., Антоненко // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – Вип. 2(41). – 373 с.
4. Встовский Г.В. Элементы информационной физики / Г.В. Встовский – М. : МГИУ, 2002. – 260 с
5. Набока Є. Б. Диференціація міжнародних стандартів у процесі підготовки виробництва / Є. Б. Набока, М.Е. Колеснік // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 42 (1085). – 220 с.
6. Сертификация в Европейском Союзе [Електронний ресурс] / INTERNATIONAL CENTER FOR QUALITY CERTIFICATION. – Режим доступу : <http://www.icqc.eu/ru/EU-Declaration-of-Conformity.php>
7. Директива 2006/42/ЕС Безпека машин і устаткування [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.icqc.eu/userfiles/File/Directive%202006%2042%20EC%20certification.pdf>
8. Директива 2000/14/ЕС Емісія шуму від обладнання, що працює поза будівлями [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.icqc.eu/userfiles/File/2000-14.pdf>
9. Директива 2001/95/ЄС Загальна безпека продукції в країнах Європейського Союзу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://icqc.lv/userfiles/File/directive%202001%2095%20GSPD.pdf>
10. Директива 2009/105/ЕС Прості сосуди, що працюють під тиском [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.icqc.eu/userfiles/File/2009_105.pdf
11. Директива 2014/34/EU Обладнання, призначене для роботи у вибухонебезпечному середовищі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.icqc.eu/userfiles/File/Directive%202014%2034%20EU%20ATEX.pdf>
12. Директива 97/23/ЄС Системи і установки, які працюють під тиском [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.icqc.eu/userfiles/File/Directive_97_23_EC.pdf

Рецензія/Peer review : 1.2.2016 р. Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Залога В.О.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІТЕТРАФЛУОРЕТЕНУ У ВАЛКОВИХ МАШИНАХ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ТКАНИНУ

В статті розглядається способи та матеріали, які використовуються при створенні захисних покриттів на тканинних основах. Технічні характеристики політетрафлуоретену, більш відомого як тефлон, у вигляді водяної дисперсії з додаванням антибактеріальних наночастинок, надає велику перспективу для розвитку легкої промисловості. Метод валкового переносу даного полімеру дозволяє зробити процес утворення плівок енергоефективним та високоточним. Запропоновано спосіб нанесення.

Ключові слова: полімерні плівки, валкова машина, захисні тканини.

I.O. GOLINKA, S.L. HORIASCHENKO

Khmelnytsky National University

PERSPECTIVES OF POLITETRAFLUORETEN IN ROLL MACHINE FOR APPLICATION OF PROTECTIVE COATINGS ON FABRICS

Abstract. The article discusses the methods and materials that are used to create protective coatings on the basis of tissue. Specifications politetrafluoreten, better known as Teflon, in the form of a water dispersion with antibacterial nanoparticles offers great prospects for the development of light industry. The method of polymer transfer roller to make the process of film formation, and energy-efficient precision.

Keywords: polymeric film, roll machine, protective fabrics.

Постановка завдання дослідження

Легка промисловість є однією з провідних галузей в економіці України. Проте сьогодні вона перебуває в жахливому стані. Враховуючи Концепцію Загальнодержавної цільової програми розвитку легкої промисловості України на період до 2017 р., випуск якісного текстилю є пріоритетним завданням вітчизняної промисловості [1]. Завершальне оброблення текстильних матеріалів (ТМ), з метою надання їм специфічних властивостей, є важливими для виконання цього завдання. Якість та загальний вид завершального оброблення ТМ обумовлює їх конкурентоздатність на сучасному ринку.

Аналіз останніх досліджень та розробок

Серед різноманіття показників, які отримують текстильні матеріали після завершального оброблення найбільш популярним є вологостійкість та антибактеріальність. Враховуючи необхідність забезпечення оборонної системи саме такими тканинними матеріалами, що будуть витримувати динамічні навантаження, захищати від проникнення вологи та розростання хвороботворчих бактерій, було поставлено за мету ознайомитись з існуючими способами апретування (від франц. *apprêter* — остаточно обробляти), та визначити перспективний план розвитку. Саме на цій завершальній стадії обробки текстиль набуває комплекс споживчих властивостей: підвищену зносостійкість, гідрофобність, біостійкість, стійкість до дії вогню, брудовідштовхувальність тощо [2, 3].

Більш широке вживання терміна «бактеріостатичний», комерційно більш прийняттого, ніж «антибактеріальний», призвело до деякої плутанини у схожих термінах.

Слід розрізняти:

- антибактеріальні тканини - зупиняють ріст мікроорганізмів за допомогою спеціального агента, який додається вже в готову тканину. Такий агент поступово вимивається при пранні виробів;
- бактерицидні тканини - вбивають бактерії за допомогою потужного хімічного агента. Але в той самий час і позбавляються від корисних бактерій людини. Основна сфера застосування таких тканин – медицина;
- бактеріостатичні тканини – зупиняють розмноження бактерій, проте не вбивають їх. Активна складова такої тканини більш стійка до вимивання при пранні, оскільки агент додається безпосередньо у саме волокно а, отже, більш захищений.

На даний час дуже добре розроблені дві хімічні технології надання бактерицидних властивостей ТМ: фінішна і пізнє впорскування. Ще одна технологія, із застосуванням електронного бомбардування, знаходиться на стадії розробки.

Фінішна – це найпростіша технологія. Вона полягає у введенні хімічного агента на останній стадії виробництва – стадії забарвлення. Такий метод довгий час зазнавав критики, оскільки він не забезпечує належної стійкості до прання (агент зникає через 5-6 разів прання). Однак останні розробки значно покращили якість антибактеріальних агентів, які залишаються в тканині та зберігають свою активність навіть після 50 прань.

Пізнє впорскування – тканина модифікується на стадії створення пряжі, і агент вводиться безпосередньо у полімерне волокно. Волокно нагрівається до високої температури, і як тільки воно починає плавитися, впорскується антибактеріальний агент (іноді у поєднанні з іншими активними агентами). Потім

здійснюється дуже швидке охолодження.

Щеплення – ця технологія ще тестується, проте вже показала відмінні результати. Вона полягає в бомбардуванні тканини зарядженими частинками, що несуть антибактеріальний агент.

Отже, визначившись, яку саме ми хочемо отримувати тканину, а це антибактеріальна з фінішною технологією нанесення, можемо перейти до вирішення питання з вологостійкістю та збільшенням зносостійкості. На сьогоднішній день існує багато полімерних сполук, які використовуються як захисні покриття в текстильній промисловості. Для одержання захисних плівок часто використовують водні дисперсії вінілових полімерів, зокрема венілацетат. За кордоном використовують полімерні вологозахисні покриття, які складаються з кількох різних за своєю природою полімерів: acrylic/urethane (AR/UR), acrylic/silicone (AR/SR), та ін. Зв'язок між цими полімерами може бути хімічним, а може бути і топологічним[4]. Ми обрали для себе політетрафлоретен (ПТФЕ). За своїми хімічними та механічними властивостями, цей полімер найкраще нам підійде. Діапазон робочих температур сягає від мінус 250°C до плюс 260 °C, витримує короткотривалі теплові навантаження до +300 °C. Маючи надміцний полімерний зв'язок, характеризується низьким поверхневим натягом та антиадгезійними властивостями, що в свою чергу відштовхує воду і захищає від бруду. За своєю хімічною стійкістю перевищує всі відомі синтетичні матеріали і благородні метали. За помірної температури не руйнується під впливом концентрованих лугів, кислот і навіть суміші азотної і соляної кислот. Руйнується розплавами лужних металів (та їх розчинами у рідкому аміаку), фтором і трифторидом хлору [5].

При створенні полімерних покриттів відбувається просочення тканинної основи плівкоутворюючим полімером і утворюється перехідний шар полімерного покриття. Це призводить до збільшення жорсткості матеріалу, збільшення внутрішніх напруг, уповільнення швидкості релаксаційних процесів. Фізико-механічні властивості такого матеріалу і таких покриттів суттєво залежать не лише від глибини просочення волокнистої основи, але і від структури і властивостей вихідних волокон, які визначають здатність плівкоутворювача проникати всередину волокна і суттєво змінювати його фізико-механічні і інші властивості [4].

Для надання полімерному покриттю антибактеріальних властивостей можна використовувати наночастинки срібла (Ag), міді (Cu), та заліза (Fe), які розчинені в водній дисперсії ПТФЕ а також добавку «Триклозан», яка відома своїми антимікробними характеристиками [6].

Для бази полімерів використовується лише відносно невелике число тканин. Щоб отримати таку характеристику, як водонепроникність, будова тканини має бути достатньо відкритою, для того, щоб полімер заповнив проміжки в плетінні. В той самий час це призведе до великих витрат полімерного матеріалу. Балансуючи між легкою вагою та задовільними механічними характеристиками, як то міцність на розрив, потрібно обирати конструкцію тканин зі щільнішим переплетенням ниток основи. Задля нівелювання шансу утворення рухомих полімерних плівок в структурі тканини, необхідно обрати правильний спосіб нанесення, що дозволить регулювати глибину проникнення полімеру.

Основна частина

Способів нанесення рідких полімерів існує надбагато. Беручи до уваги всі вхідні параметри та кінцеві результати, можна визначити саме той спосіб, який найбільше буде вдовольняти за критеріями ефективності та енергозбереження [7]. Згідно з нашими вимогами щодо експлуатації матеріалу з покриттям одним важливим критерієм є значення усадки (рис. 1). Аналіз ефекту впливу температури на стабільність розмірів тканини на яку наноситься полімер, показує, що чим нижче температура, тим більше тепла стабільність тканини, тобто тим менше усадка при застосуванні тепла, що зазвичай відбувається під час процесу нанесення покриття.

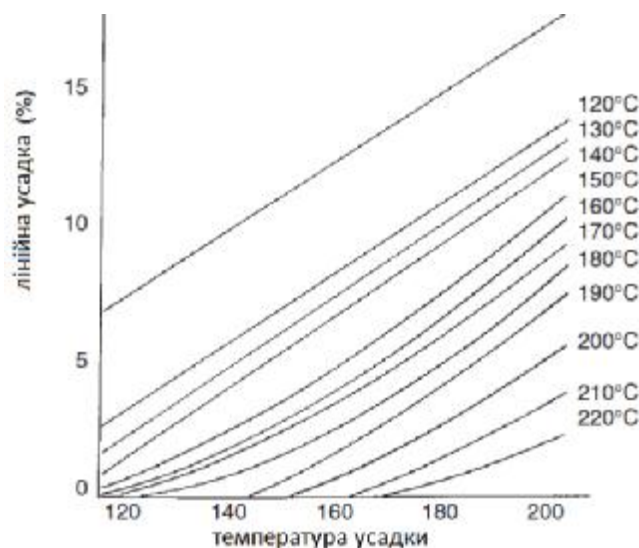


Рис. 1. Залежність лінійної усадки від температури

Для усунення процесу усадки при застосуванні ПТФЕ, коли ми бажаємо отримати захисну плівку тільки з однієї сторони найбільш вдалим буде спосіб валкового нанесення. Якщо бути точнішим – перенесення валками водяної дисперсії ПТФЕ на тканину-підкладку.

В загальному, операція рідинного покриття в основному включає в себе нанесення рідкого покриття на підкладку і, потім, затвердіння самого покриття. Спільні риси покриття є у всіх операціях [8–10].

Класифікувавши способи нанесення та визначившись з оптимальним, ми розробили технологію для одностороннього нанесення політетрафлуоретену на тканинну основу та пристрій для її реалізації (рис. 2).

Секція попереднього розташування тканини (зона 1 на рис. 2). При цьому базова тканина розмотується і перевертається через машину під рівномірним натягом, виконує функції акумулятора для тканини. Звідки рулон по дається до секції основного покриття, проходячи через зону 2.

Переніс рідини валком 3 дозволить отримати тканину, яка просичена тільки з однієї сторони, в той час коли зворотна залишиться приємною на дотик для тіла (якщо розмова йде про отримання тканин для пошиття захисного одягу). Так як температура для термічної обробки кристалів ПТФЕ має досить широкий діапазон (від $+160^{\circ}\text{C}$ – температури плавлення до $+360^{\circ}\text{C}$ температура руйнації), то для отримання такого температурного режиму необхідно використовувати піч розплаву 4 з подальшою прогонкою через сушильний апарат 5. Всі розчинники випарюють, і плівка твердне, сохне і вирівнюється. Піч може бути нагрітої паром, повітрям, нагрітим маслом, змішаним повітрям або електричним підігрівом. Для полімерів, що володіють високою температурою висихання і затвердіння можуть бути встановленні на обігрівачі інфрачервоні блоки, автономний обігрівач смуги і т.д. Для запобігання формування летких вибухонебезпечних сумішей, свіже повітря безперервно циркулює по всій печі. Швидкість сушіння ретельно контролюється щоб запобігти утворенню бульбашок або тріщин. Аби правильно керувати випаровуванням розчинника, необхідно розділити духову шафу на кілька зон, збільшуючи температуру кожної зони, з метою видалення розчинника без пухирців. Зона 6 дозволяє контролювати вищезазначені параметри.

Одна з особливостей ПТФЕ полягає в швидкому затвердінні та відсутності рідкого стану, що значно прискорює процес. Тому сама сушка спрямована більше на ліквідацію летючих речовин. При температурах від 300 до 360°C продукти розпаду переважно складаються з гексофлуоретану та октафторциклобутану. Далі тканина виходить з печі, пропускається через охолодженні барабани, щоб забезпечити її вільне лавірування. Після сушіння полотно вирівнюється за допомогою блоків 6 та протяжного акумулятора тканини 7, після чого змотується в готовому вигляді до рулону 8. Крім того, існує привід, який транспортує волокно субстрату на подальші операції.

Саме такий підхід до нанесення дозволяє контролювати явище усадки при нанесенні гарячого розчину ПТФЕ на тканину, забезпечити її рівномірне нанесення.

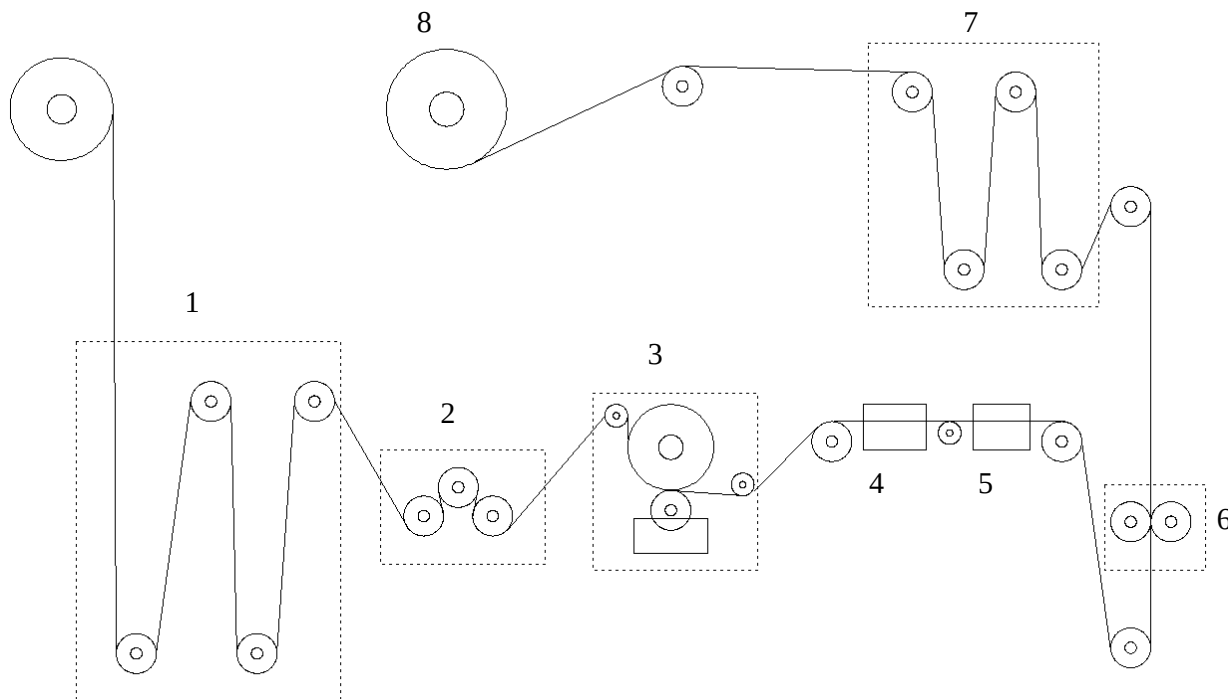


Рис. 2. Схема валкового нанесення водяної дисперсії ПТФЕ

Отримані таким чином тканини можуть бути використані для виготовлення захисної одягу та чохлів для машин, забезпечивши їх стійкість до зовнішнього середовища.



Рис. 3. Приклади застосування нової захисної тканини

Висновки

Розглянувши вже існуючі системи для нанесення захисних покриттів на тканини та проаналізувавши полімери, що застосовуються при формуванні плівок в текстильному виробництві, було обрано метод валкового перенесення водяного розчину політетрафлуоретану з антибактеріальними наночастинками на тканинну підложку. Розроблена технологія дозволяє контролювати кожен з етапів покриття – від натягу самого полотна до температури плавлення полімерної сполуки. Відсутність тривалої та енергозатратної сушки дозволяє значно знизити вартість виробництва. Отримані таким чином матеріали з покриттям на основі політетрафлуоретану дозволяють виготовлювати речі, необхідні як для побутових речей так і для оборонної промисловості.

Література

1. Оксенчук О.І. Роль завершального оброблення у формуванні спеціальних властивостей технічного текстиля / О.І. Оксенчук //Товарознавчий вісник. – 2013. – № 6. – С. 92–97.
2. Глубіш П. А. Хімічна технологія текстильних матеріалів (Завершальне оброблення) : навчальний посібник / П. А. Глубіш. – К. : Арістей, 2005. – 300 с.
3. Кричевский Г.Е. Особое место заключительной отделки в химической технологии текстильных материалов / Г.Е. Кричевский //Текстильная химия. – 2002. – № 1 (20). – С. 48.
4. Пасічник М.В. Розробка композиції для тканин з полімерним покриттям / М.В. Пасічник, І.М. Куліш, Г.С. Сарібеков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 6(47). – С. 8–12.
5. Логинов Б.А. Удивительный мир фторполимеров / Б.А. Логинов. – М., 2009. – 168 с.
6. Березненко М.П. Розробка нового асортименту синтетичних ниток, модифікованих нанопрепаратами / М.П. Березненко, В.І. Власенко, В.І. Вісленко, Н.О. Курлова, Л.В. Міхійєнкова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 3. – С. 104–108.
7. Горященко С.Л. Аналіз обладнання для нанесення полімерного покриття на текстильні матеріали / С.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 2 (223). – С. 37–40.
8. Spread coating processes, R. A. Park, in *Plastisols and Organosols*, H. A. Sarvetnick, Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1972, pp. 143–181.
9. W. R. Hoffman, Journal of Coated Fabrics, vol. 23, Oct., 1993, pp. 124–130.
10. Coated fabrics, B. Dutta, in *Rubber Products Manufacturing Technology*, A. K. Bhowmik, M. M. Hall and H. A. Stephens, Eds., Marcel Dekker, New York, 1994.

Рецензія/Peer review : 8.1.2016 р. Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н. Параска Г.Б.

PROBLEMS OF TRANSMITTING VIBRATIONS TO ELECTRONIC DEVICES AT VIBRATION TESTS CONDUCTED ON VIBRATION STAND

Abstract - The paper represents problems of attachment for tested objects to the table of vibration stand by means of standard appliances. As proved theoretically the vibration stand oscillations do not always coincide with those of the attached object. The possible way for solving this problem has been indicated.

Keywords: vibration, vibration table, resonance, oscillation, attachment appliance.

B.A. МОРОЗ

Хмельницький національний університет

ПРОБЛЕМА ПЕРЕДАЧІ ВІБРАЦІЙ КОНСТРУКЦІЯМ РЕА ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ НА ВІБРОСТЕНДІ

В доповіді коротко викладена проблема закріплення випробовуваних об'єктів за допомогою стандартних пристосувань на столі вібростенда. Теоретично показано, що коливання столу вібростенда не завжди збігаються з коливаннями об'єкта, закріпленого на ньому. Вказаний ймовірний шлях вирішення проблеми.

Ключові слова: вібрація, вібростіл, резонанс, коливання, кріпильні пристрої, пристосування.

Introduction

The proper design, production and testing of electronic devices requires knowledge and consideration of conditions, in which those will be used.

In case of using devices in conditions of vibration and impacts then the following necessary to identify: diapasons of oscillation spectrum, amplitude, vibration speed, vibration overload and impact impulses characteristics. For electronic devices important conditions to consider are not only conditions in which they are used but also transported and stored.

Such systems are very often installed on mobile objects – helicopters, airplanes, ships, automobile and tracked vehicles, rockets, satellites and other. As the matter of fact they work being exposed the complex of destabilizing factors. The most dangerous of them are: vibration and impact loads, acoustic exposure, road shaking, shots, imbalance of fast rotating parts, shock waves, rapid wind blows, fast turbulent flows etc.

Table 1 demonstrates diapasons and maximal amplitude of oscillations in electronic devices installed on various mobile objects [1].

Table 1

Diapasons and maximal amplitude of oscillations in electronic devices installed on mobile objects

Type of electronic device	Frequency of vibration, Hz	Maximal amplitude, mm
Ground devices installed on the vehicles:		
- in the car case; on tractors, on armoured wheeled vehicles;	0–80	1–2,5
- on tracked tractors;	8–15	1
- on tanks.	400–700	0,25
Ground mobile units		
on airplane:	20–2000	0,25
on units with piston engines;	10–1200	0,15–2,5
- on units with jet engines	5–150	0,15–5
Rockets:	5–500	0,025–0,3
- on acceleration stage;	5–500	-
- on the flight.	30–5000	1–3
Ships:		
- on large tonnage ships	2–35	1
- on small tonnage ships	5–150	1
Used in rail transport.	2–10	≤35

Besides to recognize the sources of oscillation excitation is important in order to control them and in this way to eliminate or reduce vibration and impacts which they generate.

These sources can be internal, for example imbalance of rotor and fan blades, electric engines, transducers and other parts in electronic devices.

External sources of vibrations are considered first of all as vibration of those objects which devices are

installed on or transported by. Besides, external sources of excitation include acoustic noise, wind blows, road shakes, sea waves etc.

MAIN PART

The most important link in the system that provides quality transmission of vibration onto the object during vibration and impact tests is appliance for attachment of the tested object to the source of vibration, in particular to electrodynamic vibration stand.

Various methods and appliances are well known and widely used in industry to attach objects as for vibration

tests so for manufacturing. The large part of them includes mechanical attachments designed to use bolts, arcs and clamps. The main requirement to these units is to maximally provide transmitting mechanical energy from the table of vibration stand to tested object, what corresponds to transmission factor equal one in the whole diapason of vibration test.

The most of the known mechanical fastening methods do not comply with such requirements [2]. Their application creates additional difficulties entailed by necessity to produce large amount of equipment for testing multiple products, which have different sizes, shape and do not permit a surface damage.

In the other cases glue, resin and compounds are used for this purpose, what in turn causes another problem. So using compounds requires filling operation and includes labour consuming operation to release an object from irreversible gluing.

Practice of testing objects by vibration and also using them on vibrating supports, within set standards, testifies of cases of damages in individual components and (or) parts of electronic devices. Measuring vibration in places of location of these components in devices has shown on frequencies of excitation that vibration amplitude of the components or vibration speed, or acceleration (vibration overload) dozens times exceeded analogous parameters of vibration detected on the table of vibration stand, or on vibrating support during operation. Developers of components claimed that destruction of components occurred during tests or operation due to unacceptably high levels of vibration. On the contrary consumers of electronic components, those who produce complex electronic devices, did not consider the claimed fact and assumed that testing of devices did not exceed acceptable limits of the standard. The assumption was made by controlling oscillations of the table of vibration stand or of the base, which the object was attached onto, in operational conditions.

In so doing vibration of the whole tested object and its components was considered equal to vibration measured on the table of vibration stand. Nevertheless the real situation is much more complicated.

We will show that vibration of the table (platform) of vibration stand in general does not characterize either vibration of fastening appliances or all the more vibration of the parts and components of structurally complex electronic device. That is why we will review a simplest case.

Figure 1 shows the scheme of the table of vibration stand with the object attached to it through fastening appliance having mass m .

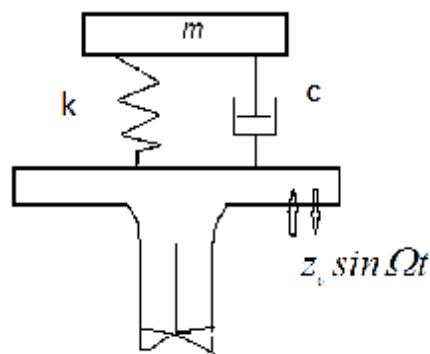


Fig. 1. Oscillating system

The attachment is not totally rigid, so fig. 1 shows the scheme of total mass m , which is supported by the table of vibration stand through the springs with rigidity k and damper with damping c .

Mobile table of vibration stand performs harmonic oscillations with amplitude z_0 from the law $z_0 \sin \Omega t$.

Symbol z stands for the downward vertical mass displacement. Then due to displacement of the table of vibration stand downward at the value $z_0 \sin \Omega t$ the spring expansion at any moment of time will be equal $z - z_0 \sin \Omega t$. The elastic force of the spring will be equal $-k(z - z_0 \sin \Omega t)$, and damping force proportional to the speed will be equal $-c(z' - z_0 \Omega \cos \Omega t)$. The next equation of oscillation of our system is obtained on the base of Newton's second law.

$$mz'' = -k(z - z_0 \sin \Omega t) - c(z' - z_0 \Omega \cos \Omega t)$$

$$\begin{aligned} \text{or } mz'' + k(z - z_0 \sin \Omega t) + c(z' - z_0 \Omega \cos \Omega t) &= 0 \\ \text{or } mz'' + cz' + kz &= kz_0 \sin \Omega t + cz_0 \Omega \cos \Omega t \end{aligned} \quad (1)$$

To find movement of mass m toward the vibrating table of the stand the derivatives are taken from spring expansion assuming that mass m moved at this moment together with spring at $z_1 = z - z_0 \sin \Omega t$

$$\text{or } z = z_1 + z_0 \sin \Omega t .$$

Differentiating results are:

$$\begin{aligned} z' &= z_1' + z_0 \Omega \cos \Omega t \\ z'' &= z_1'' - z_0 \Omega^2 \sin \Omega t . \end{aligned}$$

Substituting these expressions into equation (1) we obtain:

$$mz_1'' - mz_0 \Omega^2 \sin \Omega t + cz_1' + cz_0 \Omega \cos \Omega t + kz_1 + kz_0 \sin \Omega t = kz_0 \sin \Omega t + cz_0 \Omega \cos \Omega t$$

Having similar expressions reduction at the right and left parts the final expression is:

$$mz_1'' + cz_1' + kz_1 = mz_0 \Omega^2 \sin \Omega t . \quad (2)$$

In this equation:

mz_1'' – force of mass inertia m ;

cz_1' – damping force;

kz_1 – elastic force of the spring;

$mz_0 \Omega^2$ – inertial disturbing force.

Such disturbance of oscillations is called inertial one [3].

Thus, we have determined that mass displacement m (of electronic device together with fastening appliance) to vibrating base (table of vibration stand) occurs in the same way as absolute movement of the mass m at stationary base (table of vibration stand) when mass is exposed to harmonic disturbing force with amplitude $mz_0 \Omega^2$.

Forced oscillations of such single mass system are well studied so we will not focus on them.

We will define that amplitude and phase of such oscillations depend on closeness of frequency Ω of disturbing force to cyclic frequency ω_c of natural oscillations of the mass

$$\omega_c = \sqrt{\frac{k}{m}} .$$

Formula for oscillations of the mass m on rigidity k when $c = 0$ is

$$z = \frac{z_0 \sin \Omega t}{1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_c} \right)^2} .$$

The expression demonstrates that only when ω_c is considerably higher than Ω mass m will oscillate almost in the same way as the base which is the table of vibration stand.

As Ω is approaching to ω_c oscillation of mass will grow and be out of phase. When $\Omega = \omega_c$ the resonance occurs as mass oscillation tends to maximal (∞), and phase difference – to 90° .

Once resonance is passed and farther more the mass oscillation is reducing and tending to zero, and phase delay is growing so far away from the resonance it reaches 180° , what means that mass (of tested object) oscillation will be directed opposite to oscillation of the table of vibration stand and will try to quench it. Practically since $\Omega = 10\omega_c$ oscillation of the table of vibration stand will not be transmitted to mass m .

The oscillation theory of double mass systems shows possibility to quench oscillations of one mass by means of another one that oscillates in counter-phase and is connected to the first one by the spring. This process is the base of dynamic oscillation quencher.

This problem is not within the frame of the current work and that is why will not considered here. The important fact for us which is theoretically demonstrated is that if mass m is not fastened absolutely firmly on the table of vibration stand then table oscillations may not coincide with oscillations of the mass.

Incidentally, transmitting oscillations from the table to tested object is desirable to conduct undistorted in 1:1 scale at all frequencies of excitation.

The real situation is more complex.

The first thing to consider is that table of vibration stand does not have perfect rigidity and on some frequencies has resonances and correspondent forms of oscillation, at which deformations along the table surface are not uniform, and the table with a rod as a mass is supported by low rigidity supports and has first resonance at frequencies under 5-10 Hz that is to be passed fast.

The transmission of vibration during vibration test is conducted in the next manner. The oscillating movement of the table in general case is first transmitted to fastening appliance. In so doing, as mentioned above,

the plane of the table at some frequencies, in particular at resonance, can additionally to moving together with rod have deformation having form of table plane oscillation, which is correspondent to its resonance. And this means that vibrations will not be the same along the table plane. Hence, at different points where fastening appliance contacts with the table plane different values of the forces will be applied.

Noteworthy is that fastening appliance will have its own resonance and will increase or decrease (nonuniformly) vibrations generated by the stand.

Furthermore vibrations are transmitted, through fixtures by which object is attached to fastening appliance, to its case and then from the case to printed boards through their fixtures.

We understand that case components and printed boards have their own resonances and increased deformations and stresses in them. Finally the components on the board can have their own resonance and increased vibration received through places of their fixtures to the board.

In such multi-mass oscillating system every component is represented as mass, rigidity, exciter and inhibitor of oscillations, and growing amplitude can involve another neighbour components thus changing parameters of oscillating system: mass, rigidity, damping.

Therefore the task to reach in practice undistorted transmitting of oscillations from the table to tested object or its components in 1:1 scale is very complicated.

Noteworthy is that the situation becomes more complicated when rod axis of vibration stand and exciting force acting along this axis do not cross the mass centre of the object with fastening appliance. In case when the bend moment appears and so do related to it oscillations of the whole system in planes perpendicular to table plane of vibration stand, which superpose on main oscillations and make the total situation even more complicated.

SUMMARY

In order to avoid problems with resonance of the attachment appliances the no resonance ones are to be created in form of cylinder or cube. They are to be made from light and rigid materials which can be presented by dielectric materials (plastic, textolite etc.) or light materials (titanium, aluminium and duralumin etc.). The tested objects are to be attached to attachment appliances with the help of nanostructure electro rheological suspensions [4].

References

1. Royzman V. P. Mechanics in electronics. Issue 3 V. I. Static strength: Monograph / V. P. Royzman. – Khmelnytskyi : KhNU, 2015. – 398 p.
2. Developing design and technological ways to improve strength of typical components and units in sealed electronic devices / Scientific and technical report № 0.100-83, Khmelnytskyi, 1983. – 241 p.
3. Godfree E. R. Theory of elasticity and plasticity / E. R. Godfree. – K. : Budivelnyk, 1969. – 213 p.
4. Simulation of oscillation dynamics of vibroprotective system with the Electro rheological shock-absorber / Journal of Vibroengineering Vol.14, N3, 2012 / Korobko E., Bilyk V., Bubulis A., Dragasius E.

Рецензія/Peer review : 6.1.2016 р. Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Ройзман В.П.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІОННОГО АЗОТУВАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В СТАЛІ 45Х

Проведено аналіз впливу залишкових напружень на міцність і експлуатаційні характеристики конструкційних при наявності покриттів. Наведені результати експериментальних досліджень залишкових напружень в дифузійних шарах після іонного азотування сталі 45Х в безводневих середовищах за різними технологічними режимами. На основі планування експериментів одержані аналітичні і графічні залежності величини залишкових напружень від зміни технологічних параметрів процесу іонного азотування, встановлена залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару від його твердості. Зроблені висновки.

Ключові слова: іонне азотування, залишкові напруження, технологічні параметри, твердість

P.V. KAPLUN, V.A. GONCHAR

Khmelnytsky National University

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ION NITRIDING ON THE VALUE OF RESIDUAL STRESSES IN 45H STEEL

The analysis of influence of residual stresses on the strength and performance of construction parts having been coated. The experimental results of residual stresses in the diffusion layers after ion nitriding of 45H steel in hydrogen-free environments in different technological modes. Based on the planning experiments we have arrived at the results on analytical and graphical dependence of residual stress of changing technological parameters of ion nitriding. We specified the relation of residual stresses on the surface of the nitrided layer to its hardness. Conclusions.

Keywords: ion nitriding, residual stresses, technological parameters, hardness/

Вступ

Одним із перспективних напрямів підвищення зносостійкості, надійності і довговічності конструкційних елементів є зміцнення поверхні з застосуванням функціональних покриттів. При нанесенні покриттів в поверхневих шарах виникають залишкові напруження, що впливають на напружено-деформований стан, міцність і експлуатаційні характеристики конструкційних елементів [1–6]. Залишкові напруження можуть досягати великих значень і мати різні знаки (стиску або розтягу) в залежності від технології та властивостей нанесених покриттів [1, 2, 5, 6]. Вплив залишкових напружень на експлуатаційні властивості конструкційних елементів може бути позитивним або негативним, відповідно підвищуючи або знижуючи їх значення, в залежності від величини та знаку [1–3, 5, 6]. Тому необхідність поглиблення уявлень про природу залишкових напружень в покриттях, а також визначення їх величини, характеру, розподілу по товщині та можливостей керування їх рівнем з метою покращення експлуатаційних характеристик конструкційних елементів в системі "основа-покриття" за рахунок удосконалення технології нанесення покриттів та створення відповідної конструкції поверхневого шару є очевидною.

Дослідженнями [1, 2, 4] показано, що в дифузійних покриттях виникають залишкові напруження стиску, які позитивно впливають на міцність і довговічність конструкційних елементів в процесі розтягу, багатоцикловій втомі при згині та контактній витривалості в процесі циклічного навантаження. Залишкові напруження не рівномірно розподіляються по товщині покриття, а їх величина та характер розподілу залежать і керуються технологічними параметрами процесу дифузійного насичення.

Мета досліджень

Метою досліджень є визначення впливу технологічних параметрів процесу іонного азотування в безводневих середовищах сталі 45Х на величину залишкових напружень, що виникають в азотованих шарах.

Методика досліджень

Для досягнення поставленої мети проводилися експериментальні дослідження величини залишкових напружень в тонких пластинках із сталі 45Х розміром 200Ч15Ч1 мм після їх іонного азотування в безводневих середовищах за різними технологічними режимами. Технологічні параметри процесу азотування змінювалися в широких межах (температура азотування $T = 480 - 600$ °С; тиск в вакуумній камері $P = 80 - 400$ Па; час дифузійного насичення $\tau = 20 - 240$ хв; вміст аргону в суміші з азотом $Ar = 0 - 76\%$). Азотування поверхні зразків проводилося з однієї сторони після чого вимірювалися: прогин f зразків з точністю до 0,01 мм з використанням спеціального пристрою; товщину азотованого шару методом металографії; твердість поверхні азотованого шару з допомогою мікротвердоміра ПМТ-3.

Виходячи з величини вимірюваного прогину пластини, використовуючи рівняння пружної лінії для балки, середні значення залишкових напружень σ_c визначалися за залежністю [8]:

$$s_c = \frac{32E_o h_o^3 f}{3a^2 h_n (1 - n_o)(2h_o + h_n)}, \quad (1)$$

де h_o, h_n – товщини основи і покриття;

E_o, ν_o – модуль пружності основи першого роду і коефіцієнт Пуассона матеріалу основи;

f – прогин зразка;

a – довжина зразка.

Величину залишкових напружень в будь-якій точці по товщині азотованого шару знаходили за формулою [9]:

$$\sigma_n = \sigma_c \cdot e^{-\frac{k(z-0.45h_n)}{(h_n-z)^{0.94}}}, \quad (2)$$

де z – віддаль від поверхні до точки знаходження залишкових напружень в покритті;

h_n – товщина покриття;

k – коефіцієнт, що враховує вплив температури (Т°К) нанесення дифузійного покриття. Наприклад, при іонному азотуванні $k = 900/ T^{\circ}K$, який знаходиться з експерименту.

Для скорочення кількості експериментів при дослідженні впливу зазначених вище технологічних параметрів на фізико-механічні властивості та залишкові напруження в азотованому шарі було застосовано метод планування експериментів – 4-факторний план другого порядку Хартлі [7], відповідно до якого азотування проводилося за 20 режимами (табл. 1). Для скорочення кількості експериментів при дослідженні впливу зазначених вище технологічних параметрів на фізико-механічні властивості та залишкові напруження в азотованому шарі було застосовано метод планування експериментів – 4-факторний план другого порядку Хартлі [7], відповідно до якого азотування проводилося за 20 режимами (табл. 1). При цьому математична залежність залишкових напружень від технологічних параметрів процесу азотування описується рівнянням регресії, яке має вид:

$$j(x) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2 + \\ + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{34} x_3 x_4, \quad (3)$$

де $\varphi(x)$ – функція відклику (вихідна змінна);

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ – коефіцієнти рівняння регресії;

x_i, x_j – незалежні змінні величини (фактори).

Результати досліджень

В таблиці 1 наведені результати експериментальних досліджень властивостей (товщини і твердості поверхні) азотованого шару та величини прогину зразків після іонного азотування в безводневих середовищах за різними технологічними режимами. За формулами (1) і (2) розраховані середні значення залишкових напружень σ_c в азотованих шарах та їх максимальне значення σ_n , що виникають на поверхні, в залежності від режимів азотування.

Таблиця 1

Вплив технологічних режимів іонного азотування на товщину h_n і мікротвердість H_{100} азотованого шару та залишкові напруження на поверхні σ_n і середні σ_c в сталі 45X

№ режиму азотування	Значення факторів режиму азотування				h_n , мкм	H_{100} , МПа	Прогин f , мм	σ_c , МПа	σ_n , МПа
	T , °C	P , Па	τ , хв.	об. % Ar					
1	570	320	185	57	317	7248	5.01	228	450
2	510	320	185	57	230	6828	3.34	200	410
3	570	160	185	19	306	8110	5.58	274	540
4	510	160	185	19	218	6450	1.97	185	375
5	570	320	75	19	248	8105	3.92	292	540
6	510	320	75	19	162	7970	1.74	262	527
7	570	160	75	57	216	8660	4.16	305	596
8	510	160	75	57	171	7115	1.59	220	440
9	480	240	130	38	158	6680	1.28	200	398
10	600	240	130	38	312	8060	5.90	278	536
11	540	80	130	38	188	7440	1.99	238	474
12	540	400	130	38	280	7190	3.79	224	450
13	540	240	20	38	120	7249	1.01	233	467
14	540	240	240	38	300	6891	4.04	208	423
15	540	240	130	0	277	7374	3.85	232	467
16	540	240	130	76	233	7902	3.11	260	520
17	540	240	130	38	276	8780	4.92	299	608
18	540	240	130	38	274	8670	4.82	293	597
19	540	240	130	38	278	8800	5.01	299	608
20	540	240	130	38	275	8790	5.03	294	602

З таблиці 1 видно, що технологічні параметри процесу азотування мають великий вплив на властивості та залишкові напруження в азотованих шарах, які змінюються в широких межах. Зокрема середнє значення залишкових напружень σ_c знаходиться в межах 185–305 МПа, а максимальні залишкові напруження на поверхні σ_n – в межах 375–608 МПа при даних режимах азотування. При цьому вони залежать від твердості та товщини азотованого шару. На основі експериментальних даних одержана математична залежність σ_n від технологічних параметрів процесу азотування в вигляді рівняння регресії другого порядку:

$$\sigma_n(\text{МПа}) = 600 + 110 x_1 - 92 x_2 - 63 x_3 - 36 x_4 - 120 x_1^2 - 52 x_2^2 - 114 x_3^2 - 130 x_4^2 - 81 x_1 x_2 + 5 x_1 x_3 - 44 x_1 x_4 - 29 x_2 x_3 - 15 x_2 x_4 - 77 x_3 x_4, \quad (4)$$

де $x_1 = \frac{(T-540)}{60}$; $x_2 = \frac{(P-240)}{160}$; $x_3 = \frac{(t-130)}{110}$; $x_4 = \frac{(Ar-38)}{38}$.

На рис. 1 і 2 наведені графіки залежності σ_n від технологічних параметрів процесу іонного азотування, що побудовані на основі рівняння (4), з яких видно, що ці залежності мають екстремальний характер і існують певні значення кожного з технологічних параметрів (температури, тиску, часу дифузійного насичення і вмісту аргону в насичуючому середовищі), при яких залишкові напруження досягають екстремального значення. При цьому існує технологічний режим азотування, що забезпечує максимальне значення залишкових напружень. Для сталі 45X таким технологічним режимом є: $T = 565^\circ\text{C}$; $P = 80 \text{ Па}$; $\tau = 120 \text{ хв}$; 65 об.% $\text{N}_2 + 35 \text{ об.}\% \text{Ar}$, що забезпечує $\sigma_n = 718 \text{ МПа}$.

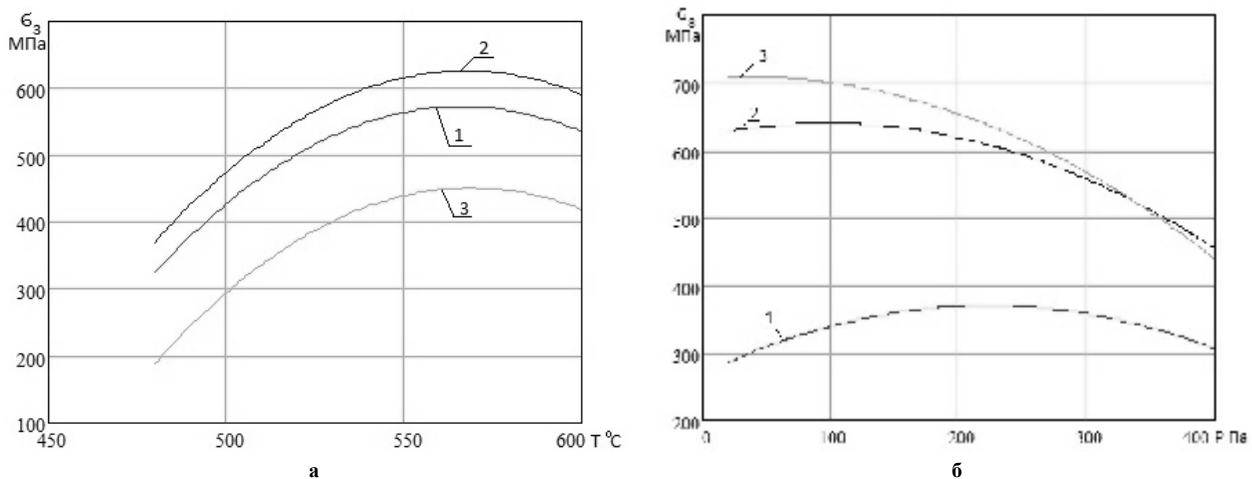


Рис. 1. Залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару сталі 45X від температури іонного азотування і тиску в вакуумній камері:

а) $\sigma_3 = f(T, ^\circ\text{C})$ при $P = 240 \text{ Па}$, суміші 62 об.% $\text{N}_2 + 38 \text{ об.}\% \text{Ar}$, часі насичення τ : 1 – 20 хв, 2 – 130 хв, 3 – 240 хв.

б) $\sigma_3 = f(P)$ при часі дифузійного насичення $\tau = 130 \text{ хв}$, в суміші 62 об.% $\text{N}_2 + 38 \text{ об.}\% \text{Ar}$ та при різних температурах азотування: 1 – 480 C, 2 – 540 C, 3 – 570 °C

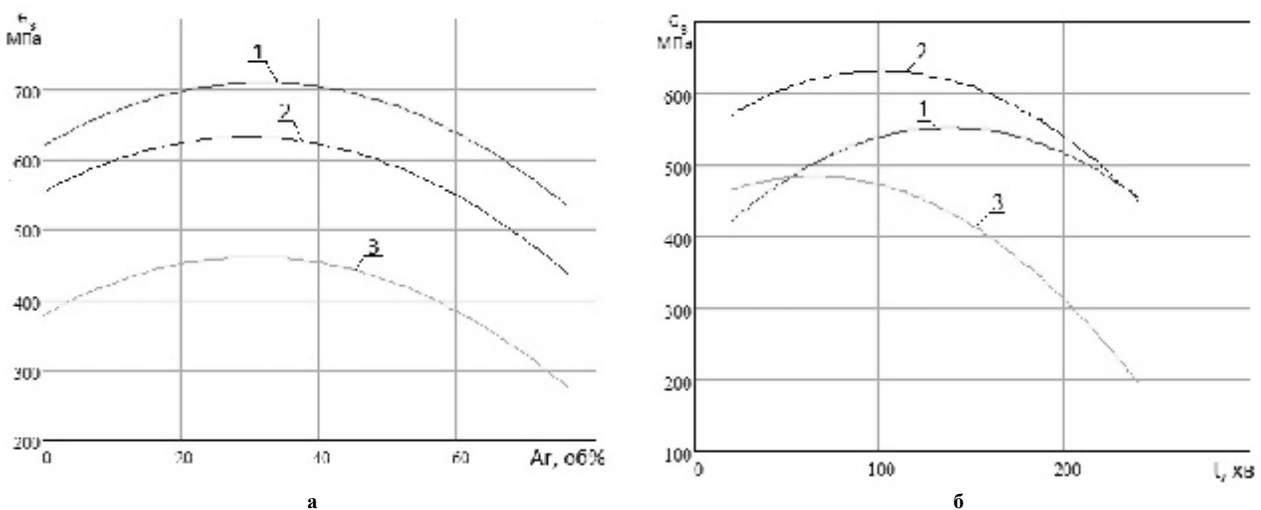


Рис. 2. Залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару сталі 45X від вмісту аргону в насичуючому середовищі та часу дифузійного насичення при температурі 570°C:

а) $\sigma_3 = f(\text{Ar об.}\%)$ при часі азотування $\tau = 130 \text{ хв}$ і різних тисках P в вакуумній камері: 1 – 80 Па, 2 – 240 Па, 3 – 400 Па;

б) $\sigma_3 = f(\tau)$ при тиску $P = 240 \text{ Па}$ в різних середовищах: 1 – 100 об. % N_2 , 2 – 62 об. % $\text{N}_2 + 38 \text{ об.}\% \text{Ar}$, 3 – 25 об. % $\text{N}_2 + 75 \text{ об.}\% \text{Ar}$.

На рис.3 наведена залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару сталі 45Х від твердості цієї поверхні при різних режимах іонного азотування в безводневих середовищах. З рисунка видно, що існує кореляційна залежність між цими характеристиками, яку можна описати такою формулою:

$$H_n = H_o + k \cdot \sigma_n, \quad (5)$$

де H_n і H_o – твердість поверхні азотованого шару і твердість основи сталі; k – коефіцієнт пропорційності, який знаходиться з експерименту для кожної марки сталі після азотування. Коефіцієнт $k = \sigma_n = (H_n - H_o) / \sigma_n$ і для сталі 45Х дорівнює 10,2.

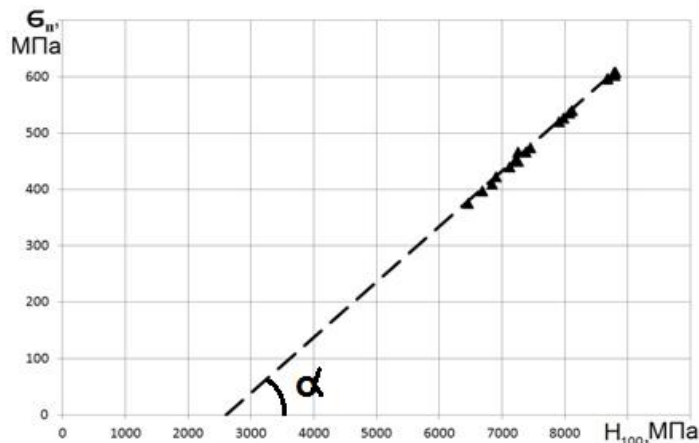


Рис. 3. Залежність залишкових напружень на поверхні азотованого шару σ_n від твердості H_{100} азотованої поверхні

Висновки

Технологічні параметри процесу іонного азотування мають великий вплив на залишкові напруження стиску, що виникають в азотованих шарах і їх величину можна змінювати в широких межах за рахунок зміни температури, тиску, складу насичуючого середовища та часу дифузійного насичення.

Залежність залишкових напружень в азотованих шарах від технологічних параметрів процесу азотування має екстремальний характер з вираженням максимумом, що дозволяє оптимізувати процес зміцнення з метою одержання оптимальних значень залишкових напружень для забезпечення максимальних експлуатаційних характеристик конструкційних елементів.

Залишкові напруження на поверхні азотованих шарів мають кореляційний зв'язок з твердістю поверхні азотованого шару.

Література

1. Каплун В.Г. Ионное азотирование в безводородных средах / В.Г. Каплун, П.В. Каплун // Хмельницький : ХНУ, 2015. – 344 с.
2. Карпенко Г.В. Влияние диффузионных покрытий на прочность стальных изделий / Г.В. Карпенко, В.И. Похмурский, В.Б. Далисов, В.С. Замиховский. – Киев : Наук, думка, 1971. – 167 с.
3. Барвинок В.А. Теоретические и экспериментальные исследования формирования напряженного состояния плазменных покрытий / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, А.Г. Цидулко // Температуроустойчивые покрытия. – Л. : Наука, 1985. – С. 141–145.
4. Похмурский В.И. Характер распределения остаточных напряжений первого рода в поверхностных слоях сталей и сплавов с защитными покрытиями / В.И. Похмурский, Г.В. Карпенко // Физико-химическая механика металлов. – 1968. – Т. 4. – № 4. – С. 381–383.
5. Трапезон А.Г. О Влияние вакуумных покрытий на сопротивление усталости технического титана / А.Г. Трапезон, Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковский // Пробл. прочности. – 1995. – № 11-12. – С. 32–38.
6. Антонюк В.С. Залишкові напруження в вакуум-плазмових покриттях TiN, (TiAl)N, (TiC)N / В.С. Антонюк, О.Б. Сорока, А.В. Рутковский, В.І. Мірненко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2004. – № 7(77) (Частина 2). – С. 206–210.
7. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. – Минск : Изд. БГУ, 1982. – 302 с.
8. Патент UA №28383: GO 1L1/06. Спосіб визначення структурних і температурних складових залишкових напружень в покриттях / Антонюк В.С., Сорока О.Б., Клименко С.А., Копейкіна М.Ю. – № u200707507 ; заявл. 04.07.2007 ; опубл. 10.12.2007.
9. Каплун П.В. Визначення залишкових напружень в азотованих шарах після іонного азотування / П.В. Каплун, В.А. Гончар, Т.В. Донченко, В.О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету, серія: технічні науки. – 2015. – № 6. – С. 7–12.

Г.А. ОБОРСКИЙ, Ю.Г. ПАЛЕННЫЙ, АНДР. А. ОРГИЯН
Одесский национальный политехнический университет, Украина

ВОЗБУЖДЕНИЕ ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ И ИХ ИЗМЕРЕНИЯ НА ВРАЩАЮЩИХСЯ КОНСОЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТАХ

В данной статье рассмотрены вопросы исследования крутильно-изгибных колебаний инструмента. Установлена связь между крутильными и изгибными колебаниями. Определены направления в исследованиях взаимодействия крутильных и изгибных колебаний. Описаны уравнения движения, описывающие изгибно-крутильные колебания технологической системы. Определены задачи разработки измерительного устройства для измерения крутильно-изгибных колебаний. Приведены известные способы измерения крутильных колебаний. Поставлены задачи, решение которых позволит проводить измерения крутильно-изгибных колебаний. Предложена схема устройства измерения крутильно-изгибных колебаний с бесконтактной передачей измерительной информации для визуализации и анализа.

Ключевые слова: крутильно-изгибные колебания, тензометрирования, бесконтактные измерения, вибрации.

G.A. OBORSKY, YU.H. PALENNYI, ANDR. A. ORGIYAN
Odessa National Polytechnic University, Ukraine

MAGNETIC NON-CONTACT SENSORS FOR MEASUREMENT OF VIBRO

The problems of the study of torsional-bending vibrations of the instrument. The relationship between the torsional and bending vibrations. The directions in the study of interaction of torsional and bending vibrations. Describe the equations of motion that describe the torsional-bending vibrations of the technological system. Defined task of developing a measuring device for measuring the torsional-bending vibrations. Shows known methods for measuring torsional vibration. The tasks, the solution of which will allow to measure the torsional-bending vibrations. A diagram of the device measuring the torsional-bending vibrations with non-contact transmission of measurement data for visualization and analysis.

Keywords: torsional-bending vibrations, strain measurement, non-contact measurement of vibration.

В задачах технологической динамики совместные изгибно-крутильные колебания инструмента часто являются предметом исследования, например при комплексной обработке поршней, при растачивании прерывистой поверхности, при изучении технологических возможностей крутильно-податливых борштанг, при изучении виброустойчивости широколезвийных конических разверток одностороннего резания и т.п. [1, 2]. Установлено существенное влияние элементов упруго-диссипативной инерционной системы (УДИС), в частности шпиндельного узла, на изгибные и крутильные колебания. Параметры крутильных колебаний зависят от изменения характеристик системы при варьировании скорости резания, а так же вылета резца.

Исследования колебаний консольных борштанг отделочно-расточных станков (ОРС) показали, что пространственная форма изгибных колебаний борштанги практически совпадает с формой статического изгиба при нагружении радиальной силой у резца. Установлено, что связь между изгибными и крутильными колебаниями является слабой, а амплитуды перемещений вершины резца при изгибных колебаниях борштанги примерно на порядок больше, чем при крутильных. С увеличением диаметра борштанги отношение этих амплитуд так же увеличивается. Длина борштанги и глубина резания в большей степени влияют на уровень колебаний, чем скорость резания и подача, изменяемые в рекомендуемых пределах [3].

Весьма информативны исследования «длинных» борштанг, для которых отношение $l/d > 3$; при этом УДИС можно считать одномерной, а замкнутая динамическая система в зависимости от условий обработки либо обладает запасом устойчивости, либо переходит в режим автоколебаний. Исследования колебаний борштанг позволяет установить предельные условия обработки без применения специальных виброгасящих устройств.

Возможность возбуждения нарастающих изгибно-крутильных колебаний в соответствии с теорией координатной связи [4] реализуется лишь в случае близости значений собственных частот изгибных и крутильных колебаний борштанг, а так же при «внутреннем резонансе». Однако эти взаимодействия не объясняют причин возбуждения интенсивных изгибно-крутильных колебаний при значительном различии собственных частот, что часто наблюдается на практике.

При изучении взаимодействия изгибных и крутильных колебаний следует различать две формы последних: высокочастотные упругие крутильные колебания борштанги и низкочастотные угловые колебания, вызванные упругими и неупругими перемещениями в приводе главного движения станков.

Особенности взаимодействия изгибных и крутильных колебаний поясняются расчетным анализом свойств динамической системы. Уравнения движения, описывающие изгибно-крутильные колебания технологической системы, представляют замкнутую динамическую модель технологической системы и процесса резания.

$$m\ddot{y} + z_u \dot{y} + c_u y = (\cos j_u + \sin j_u) P_z,$$

$$I\ddot{\phi} + z_\phi \dot{\phi} + c_\phi \phi = R P_z,$$

$$T_p \ddot{\varphi}_z + P_z = -K_p \sin j_u + K_s \dot{\varphi}_z + K_s R \dot{\varphi}_z$$

где m , z_u , c_u – приведенные значения массы, коэффициента демпфирования и жесткости упругой системы;

I , z_φ и c_φ – приведенные значения момента инерции, коэффициента демпфирования и крутильной жесткости упругой системы;

u и φ – изгибная и крутильная амплитуды колебаний;

P_z – главная составляющая силы резания;

T_p – инерционная постоянная стружкообразования;

K_p – коэффициент резания;

K_s – скоростной коэффициент резания;

φ_y – угол, проектирующий направление колебаний на направление главного движения;

R – радиус обрабатываемой поверхности.

Решение этой системы уравнений позволяет изучить временную форму колебаний, рассчитать их параметры и получить информацию о взаимодействии этих двух форм. Эти расчеты должны соответствовать экспериментальным результатам, что привело к необходимости постановки и решения ряда задач, связанных с измерением изгибных и крутильных колебаний вращающихся инструментов, в частности консольных борштанг.

Основная сложность измерения крутильных колебаний связана с тем, что объект измерений (борштанга) как правило, вращается и перед исследователями стоит задача съема измерительной информации с вращающегося объекта (инструмента или детали).

Традиционно для измерения крутильных колебаний используют два способа – применение торсиографов и измерение амплитуд скручивания и изгибов с помощью тензодатчиков, наклеиваемых на вал.

Торсиографы (обычно механические, оптические или электрические) – устройства, принцип работы которых заключается в том, что одна часть торсиографа закреплена неподвижно на вращающемся валу, а вторая часть – (маховик) соединена с вращающимся валом через упругую связь [5]. При равномерном вращении вала взаимное перемещение маховика и вала равны нулю. Крутильные колебания вала приводят к тому, что маховик либо «отстаёт», либо «опережает» деталь, что и служит источником измерительной информации. Такие устройства называют торсиографами сейсмического принципа действия.

В настоящее время применяют торсиографы, у которых измерительный сигнал получают от электронных первичных преобразователей, таких как емкостные или индуктивные датчики. Применение индуктивных и емкостных первичных преобразователей не исключило необходимости установки маховика торсиона на вращающийся вал. Кроме того, в таких измерительных устройствах возникает задача передачи измерительной информации с вращающегося торсиографа на устройство сбора и обработки измерительной информации.

Измерение крутильных колебаний с помощью торсиографов имеет ряд недостатков. Во-первых, из-за применения сейсмического принципа получения измерительной информации торсиографом сложно измерить крутильные колебания низких частот. Во-вторых, в связи с необходимостью использования маховиков, торсиограф имеет достаточно большие размеры. Таким образом, торсиографы нашли широкое применение для измерения крутильных колебаний электрических двигателей или двигателей внутреннего сгорания.

При исследовании процессов растачивания с использованием борштанг, нецелесообразно использовать торсиографы по причине их относительно больших размеров. Кроме того, установка торсиографа существенно влияет на физические характеристики объекта измерений.

Измерение крутильных деформаций с помощью тензодатчиков существенно упрощает задачу размещения на вращающемся валу чувствительных элементов. Размеры и масса тензодатчиков настолько малы, что они не оказывают влияния на измеряемый объект, однако, применение тензодатчиков не упрощает задачу съема измерительной информации с вращающейся детали или борштанги.

В первых опытах тензометрирования крутильных колебаний применялись ртутные токосъемники для передачи измерительного сигнала с вращающегося вала на тензоусилитель. С развитием электронной базы исследователи использовали индукционные и оптические способы передачи измерительной информации с вращающегося вала. В настоящее время достаточно широко используют бесконтактную передачу измерительного сигнала радиосигналом, в том числе с использованием цифровой техники.

На сегодняшний день электронная база позволяет решать такие задачи:

- подача питания для первичных устройств съема измерительной информации (тензомоста) и других электронных устройств;
- предварительное усиление сигнала непосредственно на вращающемся валу;
- передача усиленного сигнала на регистрирующее устройство в аналоговом виде или после оцифровывания.

Серийно выпускаемые бесконтактные датчики крутящего момента изготавливаются в виде шлицевых валов или фланцев, на которые устанавливается первичный преобразователь с устройством первичной обработки измерительного сигнала (рисунок 1).

Применение серийно изготавливаемых датчиков для измерения крутильных колебаний вращающихся борштанг ограничено необходимостью установки датчиков на станок, что не всегда выполнимо. Наилучшим способом решения поставленной задачи является крепление тензодатчиков непосредственно на борштанге, а передачу измерительного сигнала на устройство сбора и обработки измерительной информации осуществлять бесконтактным способом.

Для реализации этой задачи изготовлено устройство для бесконтактного измерения крутильных колебаний, в состав которого входят:

- 1) три блока тензодатчиков собранных по полно-мостовой схеме;
- 2) три нормирующих двухкаскадных усилителя;
- 3) три независимых 12-ти разрядных аналогово-цифровых преобразователя (АЦП);
- 4) микроконтроллер;
- 5) устройство беспроводной передачи данных, Bluetooth;
- 6) накопитель информации – Flash-память;
- 7) устройство автономного питания измерительного устройства;
- 8) компьютер для сбора и обработки информации.

Элементы 1...7 крепятся на борштанге и на ее фланце. Управление микроконтроллером производится через радиоканал. Схема измерительного устройства приведена на рисунке 2.



Рис. 1. Серийно изготавливаемые измерители крутящих моментов с беспроводной системой передачи измерительного сигнала

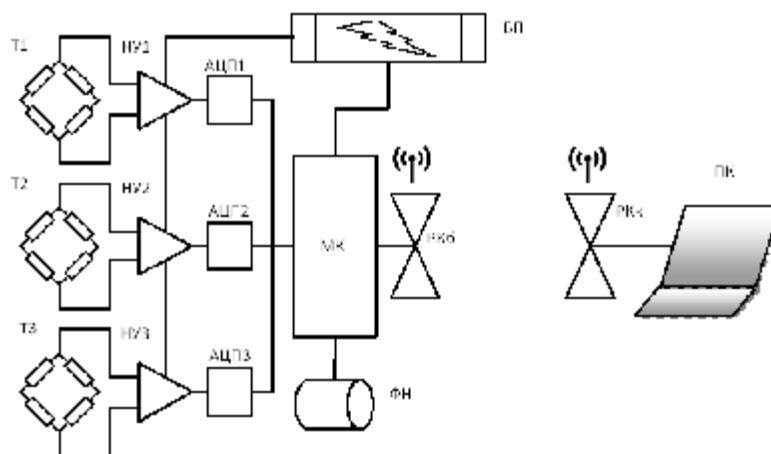


Рис. 2. Блок-схема измерительного устройства:

T1, T2, T3 – тензомосты; НУ1, НУ2, НУ3 – нормирующие усилители; АЦП1, АЦП2, АЦП3 – аналогово-цифровые преобразователи; МК – микроконтроллер; ФН – флеш-накопитель; БП – блок питания устройства; РКб и РКк – устройства радиоканала; ПК – персональный компьютер

В измерительном устройстве используют три независимых канала формирования первичной измерительной информации, которая может быть использована для получения информации об изгибных деформациях в двух плоскостях и крутильных колебаниях борштанги. В независимые каналы входят: три тензорезисторных моста, три двухкаскадных усилителя и три АЦП.

Применение полных мостов с тензодатчиками позволяет измерить и изгибные, и крутильные колебания с высокой чувствительностью и линейностью характеристик, а так же позволяет уменьшить влияние температуры на выходной сигнал.

Нормирующие усилители усиливают сигнал с тензомостов в нормированный аналоговый сигнал по напряжению. Выходной сигнал с нормирующих усилителей меньше диапазона входных значений АЦП для защиты измерительной информации от потери в случае поступления пиковых значений с первичных преобразователей.

Три независимых 12-битных АЦП преобразуют аналоговый сигнал в числовой код с периодом снятия сигнала 0,1 мс, что соответствует частоте опроса 10 кГц каждого датчика.

После оцифровывания измерительная информация обрабатывается микроконтроллером и может либо передаваться на персональный компьютер для оперативного управления процессом измерений, либо записываться на флеш-накопитель.

После обработки оцифрованного сигнала основную сложность представляет задача передачи и сохранения этого сигнала. Простые устройства приема-передачи информации не обеспечивают достаточной скорости передачи измерительной информации. В аналогичных устройствах, предназначенных для измерения момента на валах двигателей описанных в [6], измерительная информация передается с вращающегося вала с частотой не более 500 SPs. Частота получения измерительной информации, в описанном устройстве ограничивалась скоростью преобразования аналогового сигнала в цифровой код.

Для получения достоверной информации при изучении изгибных и крутильных колебаний необходимо производить измерения с частотой 5...6 kSPs [6].

Для реализации поставленной задачи был использован микроконтроллер STM32F407VGT6 с ядром Cortex-M4F более высокой производительности по сравнению с аналогами, снабженный тремя встроенными 12-битными АЦП со скоростью выборки до 2,4 MSPs. Таким образом, скорость работы устройства ограничивается не скоростью работы АЦП, а скоростью передачи или сохранения данных измерений.

В разработанном устройстве используется два режима обработки оцифрованных данных. В первом режиме данные измерений после считывания сразу же передаются на компьютер через беспроводное устройство связи Bluetooth со скоростью 115200 bps, что приблизительно равно 10 kBps. С учетом трех каналов и служебной информации при такой скорости передачи полезный сигнал может быть передан со скоростью 1,25 kBps на каждый из трех каналов.

Такая скорость несколько превышает скорость работы аналогичных устройств [6], но позволяет в режиме реального времени анализировать поступающую с устройства информацию и управлять процессом измерений.

Для получения данных измерений на более высоких скоростях, по радиоканалу на измерительное устройство через беспроводное устройство связи Bluetooth передается сигнал начала сбора и записи измерительной информации.

После получения сигнала микроконтроллер STM32F407VGT6 сохраняет всю измерительную информацию в буфере памяти по 16 kB и, после заполнения буфера, блоками сохраняет ее на флеш-накопитель.

Измерительная информация записывается в буфер с частотой 10 kSPs. Таким образом, при частоте вращения шпинделя 1600 мин^{-1} , в одном блоке будет содержаться непрерывная измерительная информация, полученная в течение 5-и полных оборотов шпинделя. Емкость флеш-накопителя позволяет записывать измерительную информацию в течение нескольких часов работы измерительного устройства.

Для питания устройства используется внешний аккумулятор емкостью 2400 мА·ч, достаточный для непрерывной работы устройства в автономном режиме на вращающейся борштанге в течение не менее 10 часов.

Литература

1. Оргиян А.А. Комплексная обработка поршней ДВС: колебания и точность / А.А. Оргиян // Високі технології в машинобудуванні : зб. наукових праць НТУ «ХПІ». – 2001 – Вип. 1(4). – С. 198–204.
2. Оборский Г.А. Математическая модель динамической системы процесса резания однолезвийной разверткой одностороннего резания / Г.А. Оборский, А.А. Оргиян, А.М. Голобородько, Л.М. Перпери // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. науч.-техн. сборник. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2014 – Вып. 84. – С. 175 – 185.
3. Оргиян А.А. Особенности колебаний консольных борштанг для тонкого растачивания / Оргиян А.А., Баланюк А.В. // Технології, матеріали, транспорт і логістика. – б.м. : Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві, 2014. – С. 157–168.
4. Копелев Ю.Ф. Параметрические колебания металлорежущих станков / Ю.Ф. Копелев, А.А. Оргиян, В.М. Кобелев // Печатний двор. – ОНПУ. – 2007. – 352 с.
5. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам / Крайнев А.Ф. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 560 с.
6. Гуринов А.С. Измерение крутящего момента на вращающихся валах / А.С. Гуринов, В.В. Дудник, В.Л. Гапонов, В.В. Калашников // Инженерный вестник Дона : электронный научный журнал. – 2012. – № 2.

Рецензія/Peer review : 18.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.2.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВУЗЛІВ МАШИН ШЛЯХОМ РОЗВ'ЯЗАННЯ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ

В роботі запропоновано методу розв'язання обернених задач забезпечення працездатності вузлів машин, яка полягає у пошуку номінальних значень і допусків первинних факторів, під впливом яких формується вихідний параметр вузла машини. За критерій працездатності вибирається відповідність вихідного параметра обумовленому в ТУ. Для ефективного розв'язання обернених задач запропоновано методи гібридного статистично-детермінованого моделювання, статистичної обробки полімодальних даних, а також методи і алгоритми одержання стійких розв'язків лінійних обернених задач. Загальна методика розв'язання обернених задач забезпечення працездатності повністю або частково була застосована для ідентифікації амплітудно-частотної характеристики літакового агрегату, зменшення вібрацій турбонасосного агрегату, забезпечення стабільності потужності літакового відповідача.

Ключові слова: обернені задачі, допуски, працездатність, модель, полі модальний розподіл, стійкість, амплітудно-частотна характеристика, авіадвигун, турбонасосний агрегат.

A.V. GOROSHKO

Khmelnytskyi National University, Ukraine

PROVIDING MACHINE UNITS PERFORMANCE BY SOLVING INVERSE PROBLEMS

Abstract - The paper presents a method of solving inverse problems to ensure efficiency units of machines, which is to find the nominal values and tolerances of the primary factors which influenced formed output parameter node machine. With the efficiency criterion chosen line output parameter specified in the specifications. To effectively solving inverse problems of the methods of statistical and deterministic hybrid modeling, statistical analysis polymodal data and methods and algorithms for obtaining stable solutions of linear inverse problems. General method of solving inverse problems to ensure efficiency in whole or in part was used to identify the amplitude and frequency characteristics of aircraft engine, reducing vibration turbopump unit, ensuring the stability of aircraft power defendant.

Keywords: inverse problems, tolerance, hard work, the model was modal distribution, stability, frequency response, aircraft engine, turbopump unit.

Постановка проблеми. Практично будь-яка сучасна машина складається з механічної, гідропневмомеханічної, електромеханічної та електронної систем. Працездатність машини, тобто стан, у якому вона здатна виконувати свої функції з параметрами, заданими технічними умовами (ТУ), залежить від працездатності всіх систем машини. Кожна система машини, окрім виконання своїх, притаманних лише їй функцій, має відповідати певним критеріям міцності, вібраційної стійкості, зносостійкості, твердості, теплостійкості її деталей і вузлів.

При проектуванні машин значення їх вихідних параметрів в тій чи іншій мірі залежать від номінальних значень і допусків на них (надалі будемо їх називати первинними параметрами) сотень або тисяч деталей і вузлів, що складають конструкцію машини, взаємодія яких і забезпечує функціональне призначення. Перед кожним розробником машини стоїть задача вибору таких її складових, щоб характеристики і параметри спроектованої машини задовольняли поставлені ТУ.

Порушення працездатності машини може відбуватись з двох причин:

- заданим в ТУ значенням вхідних параметрів машини не завжди відповідають необхідні значення їх вихідних характеристик. Ця проблема пов'язана з помилками на етапі проектування;
- в процесі експлуатації відбуваються такі зміни вхідних параметрів, при яких не забезпечується виконання ТУ на вихідні параметри. Навіть при вдалому на перший погляд результаті машина внаслідок реального розкиду значень характеристик її окремих складових не застрахована від того, що її характеристики не вийдуть поза межі ТУ під час експлуатації, тобто працездатність забезпечена не буде.

Отже, для забезпечення працездатності машини необхідно, розв'язавши обернену задачу, в першу чергу знайти множину таких значень вхідних параметрів машини, щоб значення ТУ гарантовано забезпечувались протягом всього терміну експлуатації. Очевидно, що внаслідок природного розкиду реальних характеристик, похибок вимірювальних приладів, методичних похибок, похибок обчислень тощо для проектувальника становлять інтерес не точні значення шуканих первинних факторів, а інтервали їх значень, при попаданні в які були б забезпечені ТУ. Однією з основних задач, пов'язаних із забезпеченням технологічності конструкцій і ефективності технологічних процесів виготовлення машин є обґрунтований вибір таких допустимих відхилень від номінальних значень (допусків) відповідних первинних факторів, які для конкретних техніко-економічних і організаційних умов серійного виробництва конструктивно і технологічно гарантують отримання вихідних характеристик машин у передбачених ТУ межах. В подальшому будемо називати цю задачу оберненою задачею синтезу допусків.

Наприклад, авіаційний газотурбінний двигун (ГТД) непрацездатний, тобто не допускається до експлуатації, якщо його вібрації перевищують допустимі значення в зоні експлуатаційних частот. Як показала практика, сучасні методи з використанням комп'ютерних системи проектування, таких як Solidworks, Ansys та ін. не дозволяють з потрібною точністю визначати критичні частоти роторів подібних конструкцій, оскільки неможливо врахувати залучення до коливань приєднаних мас підшипників, корпусів, рами кріплення, а також поширення коливань різних частин, які з однієї сторони чинять амортизуючу дію, а

з іншої – є збудником коливань. Для забезпечення працездатності ГТД необхідно ідентифікувати його амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) і пояснити причини всіх резонансів. Для ідентифікації АЧХ необхідно вияснити причини вібрацій компресора ГТД. Для цього потрібні знання пружно-інерційних характеристик ротора, що потребує розв'язання лінійної оберненої задачі їх ідентифікації за експериментально вимірними даними прогинів. Ідентифікація ексцентриситетів теж вимагає розв'язання лінійної оберненої задачі за відомими прогинами і статичними коефіцієнтами впливу.

Перевищення допустимих вібрацій турбонасосним агрегатом (ТНА) порушує його працездатність. Ротори таких ТНА потребують балансування, для чого необхідно знати жорсткісні і масові характеристики ротора. Розрахунковим шляхом за кресленням конструкції їх отримати неможливо, або знайдені значення матимуть величезну похибку, через що необхідно розв'язати обернену задачу ідентифікації пружно-інерційних характеристик ротора за результатами експериментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча задача оптимального синтезу допусків виникає достатньо часто, на сьогодні не вироблені ясні і чіткі підходи до її вирішення. Дослідники користуються різними методами, що різняться своєю ефективністю і складністю застосування. Що стосується загальної методики розв'язання задач оптимізації допусків при проектуванні машин або технологічних процесах їх виготовлення, то вона просто відсутня.

У роботах Абрамова О.В. [1], Назарова О.Д. [2] застосовується традиційний підхід до розв'язання задач вибору номінальних значень первинних факторів об'єктів та допусків на ці фактори, який полягає в їх роздільній постановці і розв'язанні без належного врахування ступеня критичності вихідних характеристик до варіації первинних факторів при виборі базового варіанта виробу. Відомі роботи Федюкіна В.К. [3], Кофанова Ю.Н. [4] та ін., в яких ставляться і розв'язуються задачі визначення допустимих значень первинних параметрів технічних систем, але описані в них методи мають вузьке застосування. Відомі методи оптимального вибору допусків за критерієм вартості, викладені у роботах Дендобренко Б.Н., Дунаєва П.Ф. потребують виявлення кількісних залежностей вартості формування первинного фактора від значень допусків, геометричних методів призначення допусків (Шило Г.Н., Воропай А.Ю. [5]), метод «центрування» допусків Петренко [6]), в яких необхідно визначати критерій оптимальності виробів для споживача і максимізувати процент виходу придатних виробів і імовірність працездатності при зміні первинних факторів.

Незважаючи на те, що постановкою і розв'язанням обернених задач займалась велика кількість авторів (фундаментальні роботи Тихонова А.Н., Філіпса Д.Л., Лаврентєва, Іванова В.К., Кабаніхіна та ін., прикладні роботи Мацевитого Ю.М., Аліфанова О.М.), на сьогодні відсутні роботи вітчизняних і закордонних вчених, присвячених формалізації, загальній постановці і методології розв'язання обернених задач забезпечення працездатності машин на етапі їх проектування.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз недоліків існуючих розрахунково-експериментальних, розрахунково-аналітичних і статистичних методів синтезу допусків показав, що на сьогодні відсутні усталені погляди на задачу визначення допусків на вхідні параметри деталей і вузлів машин. Це вносить певний хаос і не дозволяє інженеру-досліднику чітко обрати ефективний метод розрахунку допусків. Отже, бажаною є розробка відповідної інженерної методики і рекомендацій до її застосування.

Основними проблемами і труднощами на шляху розв'язання обернених задач забезпечення працездатності, що стримують їх застосування, є значний розкид значень реальних даних, що входять у модель у вигляді коефіцієнтів, і погана обумовленість систем лінійних рівнянь, складених для ідентифікації невідомих значень. Ці труднощі настільки серйозні, що часто не дозволяють отримати достовірні результати.

При застосуванні активного планованого експерименту (АПЕ) для побудови математичних моделей деталей і вузлів машин, що складаються з значної кількості каскадів, вузлів та деталей, проблеми необхідності проведення великої кількості експериментів настільки серйозні, що питання можливості зниження кількості вказаних експериментів стає питанням перспективності самого методу АПЕ.

Існуючі на сьогодні підходи до статистичної обробки емпіричних даних, що базуються на представленні розподілу як нормального, не завжди правомірні, особливо у випадку появи усічених і полімодальних законів розподілу. Рекомендації з вибору кроку розбиття інтервалу значень досліджуваної випадкової величини, які є в літературі з теорії імовірностей і математичної статистики, носять чисто емпіричний характер. Отже, невирішеною проблемою є методи обробки полімодальних законів розподілу і призначення допустимих значень параметрів з заданою імовірністю.

Некоректно поставлені задачі внаслідок поганої обумовленості часто нестійкі, тобто малим змінам вхідних даних відповідають великі зміни у розв'язку задачі. Математичні методи підвищення стійкості розв'язків таких задач базуються на їх регуляризації і приведення до умовно-коректних різноманітними засобами. Відомі на сьогодні методи не завжди можуть бути застосовані через низку причин, особливо у випадку полімодального розподілу імовірностей досліджуваних параметрів.

Отже, підвищення працездатності деталей і вузлів машин при їх проектуванні і експлуатації шляхом оптимального вибору конструктивно і технологічно обґрунтованих номінальних значень та допустимих відхилень від них первинних факторів складає зміст науково-прикладної проблеми, а розробка шляхів і методів розв'язання цієї проблеми складає мету даної роботи.

Постановка задачі досліджень. Створення будь-якої нової машини, механізму, починається із ТУ на вихідні параметри, які називаються умовами працездатності машини. Подавши вузол машини як систему

з n вхідними параметрами $x_i, i = \overline{1, n}$ і m вихідними параметрами $Y_i, i = \overline{1, m}$, умови її працездатності можна виразити у вигляді номінальних значень вихідних параметрів Y_{0i} і допусків на їх значення $Y_{0i} - d_i \leq Y_{0i} \leq Y_{0i} + d_i$, або лише у вигляді нерівностей типу

$$[y_i] \leq Y_i \leq [Y_i], \forall i = \overline{1, m} \quad (1)$$

Умови працездатності (1) утворюють область допустимих значень $D_y = \{y \in \mathbf{R}^m\}$. Перед розробниками стоїть задача спроектувати, сконструювати, виготовити і довести машину, що виконує задані функції, щоб її вихідні параметри відповідали б умовам працездатності, чим буде забезпечений необхідний рівень якості. Іншими словами, необхідно знайти область працездатності $D_x = \{x \in \mathbf{R}^n\}$, в яких виконуються умови працездатності (1).

Задача побудови області працездатності D_x , вибору номінальних значень вхідних параметрів $X_0 = [x_{0i}]_{1 \times n}^T$ і допусків на них називається задачею параметричного синтезу.

Основні результати дослідження. Розглянемо етапи розв'язання поставленої задачі.

Зведення до задачі оптимізації. Формування вектора вихідних параметрів Y машини повністю визначається набором значень вектора первинних параметрів X за допомогою оператора

$$Y = f(X, B), \quad (2)$$

що здійснює зв'язок між цими векторами. Структура f і вектор параметрів математичної моделі $B = [B_i]_{1 \times k}$ відповідає фізичній природі і функціональному призначенню об'єкта.

Як правило, виробничі, фізичні, економічні та інші міркування дозволяють вказати найширші границі множин можливих значень первинних параметрів. Тоді доповнену цими обмеженнями систему, яка виражає умови працездатності, з врахуванням координатної форми оператора (2) можна записати у вигляді

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, B_1, B_2, \dots, B_k), \quad C_i < x_i < D_i, \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Система обмежень (3) визначає у просторі первинних факторів $\mathbf{R}^n$ деяку криволінійну область - область працездатності виробу $D_x = \{x \in \mathbf{R}^n\}$. Пошук множин $D_x \in \mathbf{R}^n$ геометрично означає вписування в D_x n -мірних паралелепіпедів. Ця задача має неєдиний розв'язок, оскільки таких паралелепіпедів можна вписати безліч. При цьому кожен паралелепіпед може бути повністю визначений заданням номінальної точки $X_0 = [x_{0i}]_{1 \times n}$, яка завідомо лежить у шуканій області, і, в загальному випадку, набором значень нижніх $\delta = [\delta_i]_{1 \times n}$ і верхніх $\Omega = [\Omega_i]_{1 \times n}$ відхилень первинних факторів від їх номінальних значень, тобто вибраної технології. При цьому номінальна точка може лежати всередині або на границі поля допуску, і мають місце очевидні співвідношення

$$x_{i0} - d_i \leq x_{i0} \leq x_{i0} + \Omega_i, \quad \forall i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Далеко не кожен розв'язок сформульованої задачі може бути практично реалізований через різноманітні конструктивні, технологічні або економічні міркування. Ці міркування можуть бути аналітично сформульовані у вигляді деяких критеріїв оптимальності (цільових функцій) економічного, виробничого або іншого змісту. Обрані цільові функції мають містити в якості аргументів відхилення первинних факторів від їх номінальних значень

$$F_i = F_i(d_1, d_2, \dots, d_n, \Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n), \quad i = \overline{1, L}, \quad F \in \mathbf{R}^L, \quad d, \Omega \in \mathbf{R}^n$$

Очевидно, що зі всіх вказаних раніше паралелепіпедів найбільш прийнятними для практичної реалізації в реальному об'єкті є ті, на які такі критерії можуть бути оптимізовані, а інші приєднані до обмежень (3).

Можливі різні критерії оптимізації допусків. Основним з них є мінімізована функція вартості. Оскільки залежність цієї функції від поточних значень допусків на кожен з первинних факторів невідома, пропонується змінити вимогу мінімальної вартості виготовлення виробу в певному сенсі рівносильною вимогою максимізації всіх або деяких допусків. Тоді в якості часткових критеріїв оптимальності, для того, щоб досягти одноманітності при постановці задачі будемо розглядати допуски на значення первинних факторів, взяті зі знаком мінус $\min(-d_i), \min(-\Omega_i), \forall i = \overline{1, n}$.

При виконанні умови $d_i = \Omega_i \forall i = \overline{1, n}$ поставлена задача зводиться до задачі умовної багатокритеріальної оптимізації, в якій вимагається визначити такі допустимі максимальні відхилення $\{\delta_i\}_{i=1}^n$ первинних факторів від номінальних значень, заданих вектором X_0 , щоб в отриманому паралелепіпеді $P_n = \{X = [x_i]_{1 \times n} \in \mathbf{R}^n : x_{i0} - \delta_i/2 < x_i \leq x_{i0} + \delta_i/2, i = \overline{1, n}\}$, виконувалась система обмежень (3).

Ця задача може бути розв'язана декількома способами, наприклад, мінімізуючи згортку $\min_{\{\delta_i\}_{i=1}^n} \left(-\sum_{i=1}^n w_i \delta_i \right)$, де $W = [w_i]_{1 \times n}$ – вектор вагових коефіцієнтів, отриманий методом парних порівнянь за

допомогою експертів з виробництва, або максимізуючи об'єм паралелепіпеда допусків $\min \left(-\prod_{i=1}^n d_i \right)$.

Як показала практика, безпосереднє розв'язання сформульованої задачі не дає задовільні результати внаслідок некоректності поставленої задачі та інших зазначених вище, подолання яких має стати необхідними етапами розв'язання.

Математичне моделювання і задачі ідентифікації об'єктів. Будь-яка побудова моделі досліджуваного об'єкту на основі аналізу його вхідних і вихідних даних, є ідентифікацією. Розглядають структурну і параметричну ідентифікацію, а оскільки вхідні параметри завжди випадкові, то в реальних задачах параметрична ідентифікація фактично перетворюється на статистичну, отже реальні обернені задачі слід ставити із врахуванням цієї обставини. Важливою видається розробка підходів до задачі встановлення функціональних залежностей первинних факторів і вихідних параметрів машин, що мають достовірні коефіцієнти, приведені до моделі об'єкта. Основою алгоритмізації оперативного математичного моделювання є активна регульована дія на об'єкт.

Нехай модель досліджуваного вузла машини представлена у вигляді (2). На початку розглянемо параметричну ідентифікацію і припустимо, що структура функцій f_i відома, а параметри B_i – невідомі. Частинний випадок постановки такої задачі передбачає, що значення коефіцієнтів моделей невідомі.

Якщо у лінійну систему (2) підставити виміряні у реальних умовах функціонування об'єкту значення вихідних характеристик і деяких первинних факторів, то разом з ними системою мають задовольняти також k невідомих значень первинних факторів і j коефіцієнтів моделі. Як правило, система є недовизначеною (тобто $k+j > n$) і тому допускає нескінченно багато розв'язків. Але з причини існування реального об'єкта, природно визначити із цієї множини саме той розв'язок, який відповідає даному об'єкту. Отже, задачу необхідно довизначити шляхом проведення додаткових експериментів. Практичним способом такого довизначення є запропонований узагальнений метод пробних параметрів, суть якого полягає у наступному. В досліджуваній об'єкт по чергово вводять додаткові або змінюють в ньому $k+j-n$ елементів і (або) виводять об'єкт на пробні режими функціонування, вибрані з числа вказаних в ТУ, тобто активно регулюють роботу об'єкта. Дія цих пробних елементів (або режимів) спільно з елементами, характеристики яких ідентифікуються, дозволяє виміряти відсутні значення вихідних параметрів, доповнити систему до нормальної і у випадку незалежності її рівнянь ідентифікувати шукані фактори і коефіцієнти моделі, тобто знайти розв'язок оберненої точкової задачі.

Структурна ідентифікація виникає тоді, коли структура f_i невідома. В цьому випадку її пропонується подати, розкладаючи в ряди по повній системі функцій, наприклад в ряд Тейлора, і проводити ідентифікацію декількома послідовними етапами. Спочатку, застосовуючи потрібну кількість пробних параметрів, необхідно визначити коефіцієнти лінійного наближення. Вносячи додаткові пробні параметри, можна відібрати ті Y_i , які адекватні об'єкту. Для решти функцій розглядаються квадратичні наближення та ін. Збіжність цього процесу легко доводиться. Для практичних ситуацій, які часто зустрічаються, кількість етапів зазвичай не перевищує двох-трьох.

Для реалізації методу слід на початку в якості первинних факторів розглядати характеристики крупних вузлів і виявляти ті з них, які суттєво впливають на функціонування об'єкту. Далі таким самим чином можна встановити залежності відібраних характеристик крупних вузлів від більш дрібних і т.д. Такий ієрархічний підхід дозволяє оперативно настроювати модель на досліджуваній об'єкт з врахуванням ступеня його ідеалізації і умов функціонування, а також усувати необхідність врахування і аналізу несуттєвих первинних факторів.

Однак ієрархічне моделювання допустиме лише при можливості вимірювання на кожному випадку вихідних характеристик окремих вузлів. В тих випадках, коли така можливість конструктивно не передбачена, можна застосувати метод багатокаскадного моделювання.

Гібридні статистично-детерміновані моделі багатокаскадних вузлів машин. Знизити трудомісткість і тривалість операцій, які необхідні для реалізації активного планованого експерименту (АПЕ) при створенні математичних моделей багатокаскадних електронних вузлів машин можна шляхом побудови їх гібридних статистично-детермінованих моделей, а також шляхом обґрунтованого вибору мінімальної кількості дублювання кожного досліджуваного з деякою заданою надійністю.

Розглянемо об'єкт, що містить незалежні каскади, такі, що варіювання первинних факторів будь-якого із них змінює вихідні характеристики тільки цього каскаду. Ставиться задача шляхом застосування АПЕ змодельовати вихідну характеристику всього виробу у разі, коли взаємний вплив каскадів на неї відомий заздалегідь. При цьому будемо розглядати багатокаскадні вироби, конструкція і традиційна технологія виготовлення яких не дозволяє і (або) не передбачає проміжний контроль окремих каскадів. В той же час можливе вимірювання значень модельованої функції у при довільних наборах значень первинних факторів всіх каскадів.

Шукану модель можна подати у вигляді відомої функції

$$y = f(j_1, j_2, \dots, j_k), \quad j \in \mathbf{R}^k, \quad (5)$$

що має властивість $dy/dj_i \neq 0 \quad \forall i = \overline{1, k}$, в деякому околі точки $(j_{10}, j_{20}, \dots, j_{(i-1)0}, j_i, j_{(i+1)0}, \dots, j_{k0})$, де

$$j_i = j_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{il_i}), \quad \forall i = \overline{1, k}, \quad (6)$$

невідомі функції, які моделюють i -й каскад, а X_{ij} – кодовані первинні фактори.

Позначимо набір факторів $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik_i})$ вектором $X_i \forall i = \overline{1, k}$, після чого співвідношення (5) набуде вигляду

$$y = f(j_1(X_1), j_2(X_2), \dots, j_k(X_k)). \quad (7)$$

Таким чином, задача полягає у побудові методом АПЕ поліноміального подання функції (7), вираженого через первинні фактори. Для цього отримаємо функцію y , що залежить від первинних факторів $X_1, X_2, \dots, X_k$ і фіксованих невідомих чисел $j_{10}, j_{20}, \dots, j_{k0}$, тобто $y = y(X_1, X_2, \dots, X_k, j_{10}, j_{20}, \dots, j_{k0})$.

Оскільки при $X_i = X_{i0} \forall i = \overline{1, k}$ має місце $y = y_0$, то вірною є нерівність $y_0 = y(X_{10}, X_{20}, \dots, X_{k0}, j_{10}, j_{20}, \dots, j_{k0})$, яка дозволяє відмовитись від невідомих j_{i0} , виразивши їх через вимірне значення y_0 , і отримати таким чином шуканий вигляд моделюючої функції.

Запропонований метод побудови гібридних статистично-детермінованих моделей багатокаскадних об'єктів, що дозволяє формувати статистичні моделі з врахуванням відомих теоретичних залежностей, дає значний вигравш у кількості експериментів – $2^{l_1} + 2^{l_2} + \dots + 2^{l_k}$ проти $2^{l_1 + l_2 + \dots + l_k}$ при реалізації стандартного АПЕ (рис. 1, 2).

Для обґрунтованого вибору мінімальної кількості повторень кожного досліду при вимірюванні значення функції y використаємо метод довірчих інтервалів для оцінки математичного сподівання і середньоквадратичного відхилення нормально розподіленої випадкової величини з заданою надійністю. З надійністю P , число n може бути знайдено із виразу $n = T^2 s^2 (1-q)^2 / d^2$, де s – виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення, T – таке значення аргументу функції Лапласа $\Phi(T)$, при якому $\Phi(T) = P/2$, q – число, що визначається із таблиці, d – задане число, що визначає допустиме відхилення середнього значення реалізованих дослідів від істинного значення вимірюваної величини.

Ця обставина набуває особливої важливості тоді, коли кількість факторів і каскадів достатньо велика, а також, коли якість роботи виробу характеризується не одним, а декількома вихідними параметрами. Оперативне створення таких статистично-детермінованих моделей дозволяє визначити обґрунтовані допуски на величини первинних конструктивно-технологічних факторів із умов стабілізації вихідних параметрів у заданих межах, що досягається дослідженням отриманих функцій багатьох змінних одним із відомих математичних способів.

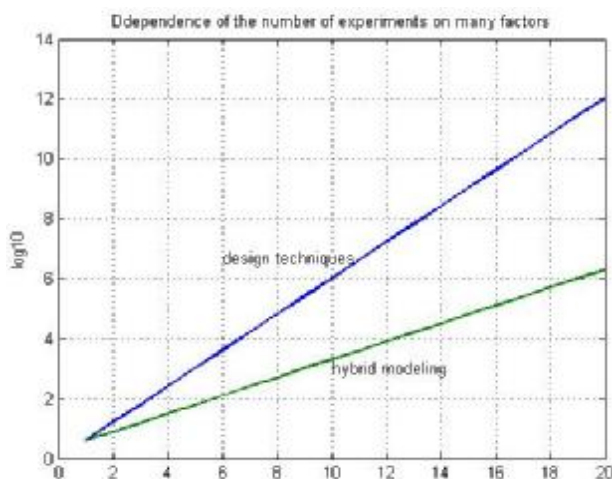


Рис. 1. Залежність кількості експериментів від кількості факторів при фіксованій кількості каскадів

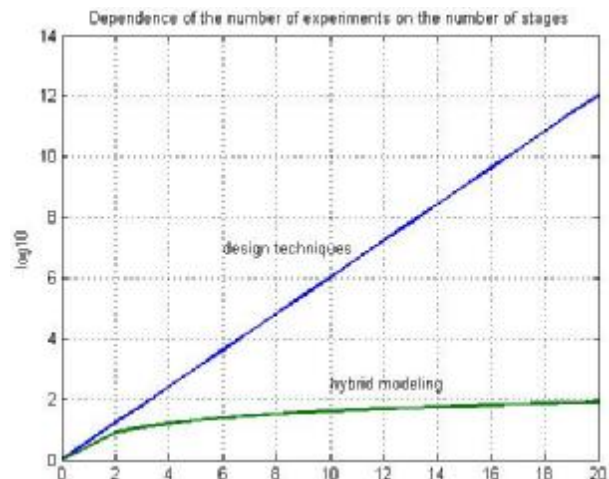


Рис. 2. Залежність кількості експериментів від кількості каскадів при фіксованій кількості факторів

Статистична обробка результатів експерименту. Ідентифікація математичних моделей деталей і вузлів машин базується на залученні вимірних емпіричних значень їх характеристик, тому важливість цього етапу в розв'язанні оберненої задачі очевидна. Через безліч випадкових ситуацій при виробництві і експлуатації машин, а також через нестабільність властивостей конструкційних матеріалів, їх характеристики можна прийняти за випадкові величини. Тоді за реалізаціями цих величин можна оцінити істинні значення, наприклад, методом довірчих інтервалів, якщо відомі закони розподілу.

Тривалий час найбільш вдалою апроксимацією було прийнято вважати нормальний розподіл або його модифікації, для яких і можуть бути застосовані більшість статистичних критеріїв і оцінок. В роботі показано, що нормальний закон розподілу імовірностей не володіє тією універсальністю, яку йому приписували раніше. Ситуації, які виникають при вивченні реальних процесів, свідчать про те, що багато параметрів об'єктів мають такі, що відрізняються від нормальних, а часто навіть не унімодальні функції

розподілу імовірностей. Кожна вибірка реалізацій представляється як випадкова величина у вигляді сукупності підвбірок, об'єднаних деякими домінуючими причинами розкиду значень досліджуваної величини. Отже, метод обробки таких полімодальних даних полягає у представленні емпіричної ГР у вигляді

суперпозиції k функцій з ГР f_i , в якій ГР f_i – унімодальні, у вигляді $f(x) = \sum_{i=1}^k r_i f_i(x, \theta_i)$,

$2 \leq k < \infty$, $r_i \in [0, 1]$, $\sum_{i=1}^k r_i = 1$, де r_i – апіорна імовірність (ваговий коефіцієнт) i -ї компоненти суміші. В частинному випадку емпірична ГР може бути апроксимована лінійною комбінацією Гаусових функцій ГР $N_i(m, s^2)$ виду

$$f(x, m_i, s_i, r_i) = (2p)^{-\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^k s_i^{-1} r_i \exp \left[-(x - m_i)^2 (2s_i^2)^{-1} \right], \quad 2 \leq k < \infty, r_i \in [0, 1]. \quad (8)$$

Здійснити декомпозицію суміші (8), тобто розв'язати обернену задачу визначення невідомих параметрів m_i , s_i і r_i , можна методом найменших квадратів, моментів або інтерполяції на точковій множині.

Існуючі рекомендації із вибору кроку розбиття інтервалів значень для побудови нормалізованої гістограми розподілу випадкових величин не дають відповіді на питання причин полімодальності, тому запропонований метод обґрунтованого вибору кроку розбиття інтервалу випадкових значень і побудови гістограм, який полягає у пошуку оптимального кроку h_{opt} розбиття шляхом його послідовного збільшення від деякого мінімального значення, порівняного з точністю даних. Крок гістограми необхідно збільшувати до тих пір, поки кількість вершин (локальних максимумів) не стане дорівнювати кількості членів k в лінійній комбінації (10) після відкидання її малих членів. Знову застосовуючи той же метод розв'язання, але вже для меншої кількості невідомих, можна визначити їх уточнене значення і відкинути малі члени. Такий процес слід продовжувати до тих пір, поки всі r_i не стануть порівнювані з вибраною точністю b . Отриманий при цьому крок може бути взятий за оптимальний h_{opt} . Фізично цей процес означає, що підвбірки з малим r_i вносять вельми незначний внесок у загальну вибірку і тому їх можна об'єднати з однією із підвбірок деталей машин з близькими величинами досліджуваного параметра.

Одержання закону розподілу імовірності досліджуваного параметра у вигляді (10) дозволило перейти до вирішення однієї із важливих практичних задач - призначення допустимого значення цього параметра з певною надійністю, для чого запропоновано два шляхи до призначення допустимого значення досліджуваного параметра.

1. *Метод екстремальних характеристик.* Розглядається i -а підвбірка з $\min_i(m_i)$ або $\max_i(m_i)$.

Параметри цієї підвбірки можуть бути прийняті для всієї партії, оскільки отримані при цьому похибки підуть у запас. У цьому випадку подальша обробка експериментальних даних може відбуватися тільки для зазначеної нормально розподіленої i -ї підвбірки значень з параметрами розподілу m_i, s_i , як описано вище. Якщо є можливість розділити вихідну вибірку виробів на підвбірки, об'єднані однією з домінуючих причин появи розкиду значень, то аналогічні операції з обробки експериментальних даних слід проводити для кожної підвбірки.

2. *Метод інтегральних характеристик.* Визначені параметри дозволяють записати інтегральну функцію розподілу з «вагами»

$$F(x) = (2p)^{-\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^k s_i^{-1} r_i \int_{-\infty}^x \exp \left[-(x - m_i)^2 (2s_i^2)^{-1} \right] dx,$$

яку, як і Гаусову випадкову величину, за допомогою комп'ютера можна задати таблицею наступним чином. Для кожного значення величини x , яке змінюється з певним числовим інтервалом, наприклад, 0,1, за

$$\Phi^x(x) = (2p)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^x \exp \left(-x^2/2 \right) dx$$

таблицею функції розподілу нормованого нормального розподілу можна

$$g_i = (2p)^{-\frac{1}{2}} s_i^{-1} \int_{-\infty}^x \exp \left[-(x - m_i)^2 (2s_i^2)^{-1} \right] dx = (2p)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{(x-m_i)/s_i} \exp \left(-x^2/2 \right) dx$$

визначити імовірність, $i = \overline{1, k}$, і далі

значення інтегральної функції з «вагами» $F^x(x) = \sum_{i=1}^k r_i g_i$. Отримана таблиця значень $F^x(x)$ дозволяє не

тільки за значеннями x визначати величину функції $F^x(x)$, але і навпаки – за заданими значеннями функції визначати величину аргументу. Таким чином, для заданої довірчої імовірності можна визначити шукане допустиме значення параметра x із співвідношення виду

$$g = P\{x < [x]\} = F^x([x]) = (2p)^{-\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^k s_i^{-1} r_i \int_{-\infty}^{[x]} \exp \left[-(x - m_i)^2 (2s_i^2)^{-1} \right] dx,$$

складеного на основі визначення інтегральної функції розподілу випадкової величини параметра з ГР (8).

Метод інтегральних характеристик точніший, оскільки він враховує функції розподілу всіх підвибірок, і універсальніший, адже з його допомогою можна вирішувати поставлену задачу у випадку довільного розподілу, в т.ч. як частинний випадок і на унімодальний закон, якщо попередньо скласти для нього таблицю залежності довірчої ймовірності і аргументу інтегральної функції розподілу досліджуваної величини. В цьому випадку він може слугувати навіть доповненням і уточненням способу розв'язання аналогічної задачі при унімодальних законах розподілу параметра, описаного раніше в припущенні, що істинне значення вимірюваної величини збігається з її математичним очікуванням.

Запропонований узагальнений метод статистичної обробки вимірюваних параметрів деталей і вузлів машин дозволяє, по-перше, розкрити внутрішню структуру даних з урахуванням можливої полімодальності законів їх розподілу, і, по-друге, дає правила роботи з такими статистичними матеріалами, зокрема, методи визначення обґрунтованих допустимих значень досліджуваних параметрів.

Забезпечення стійкості моделей. Моделі мають практичне значення лише тоді, коли похибки експериментальної, вхідної інформації не можуть викликати недопустимо великих похибок шуканих величини, тобто коли розв'язки, отримані за допомогою моделей, стійкі. На практиці обернені задачі часто є нестійкими внаслідок некоректності їх постановки.

Розглянемо дискретну лінійну обернену задачу у вигляді СЛАР

$$\mathbf{AX} = \mathbf{Y}. \quad (9)$$

На практиці завжди присутні похибки, і $\mathbf{A} = \mathbf{A}_0 + \Delta\mathbf{A}$, $\mathbf{Y} = \mathbf{Y}_0 + \Delta\mathbf{Y}$, і оцінкою відносної похибки ідентифікованих за допомогою лінійної моделі параметрів є:

$$\|\Delta\mathbf{X}\|/\|\mathbf{X}_0\| \leq \text{cond}(\mathbf{A}_0) \cdot \|\Delta\mathbf{Y}\|/\|\mathbf{Y}_0\| + [\text{cond}(\mathbf{A}_0)]^2 \cdot \|\Delta\mathbf{A}\|/\|\mathbf{A}_0\|, \quad (10)$$

де $\text{cond}(\mathbf{A}_0)$ – число обумовленості матриці $\mathbf{A}_0$. Оцінка (10) дозволяє обґрунтувати погіршення обумовленості моделі з зростанням порядку $\mathbf{A}_0$, тобто вказати на необхідність пошуку компромісного варіанту між прагненням точніше описати об'єкт за рахунок залучення більшої кількості факторів і забезпеченням стійкості його моделі.

Однак традиційна оцінка (10) за числом обумовленості є недостатньою, оскільки оцінюється осереднена норма вектора розв'язку $\mathbf{X}$, а похибка окремо взятого розв'язку $|\Delta x_j|/x_{0j}$, який має конкретний фізичний зміст, може перевищувати похибку $\|\Delta\mathbf{X}\|/\|\mathbf{X}_0\|$. У припущенні нормального закону розподілу похибок встановлена достатня оцінка похибки в залежності від оцінки дисперсій розв'язків x_j за дисперсіями вимірюваних величин при точних коефіцієнтах матриці виду $s_{xj}^2 = \left(\sum_{i=1}^n (-1)^{i+j} s_{yi}^2 M_{ij} \right) / D$, де

$\Delta y_i : N(0, \sigma_{yi}^2)$, $\Delta x_j : N(0, \sigma_{xj}^2)$ – некорельовані між собою випадкові величини, M_{ij} – мінори, $D = \det(\mathbf{A}_0)$.

Це дозволяє оцінити «зверху» максимальну похибку з більшою надійністю у $k = \frac{s_{\min}}{D \|\Delta\mathbf{Y}\|} \left(\sum_{i=1}^n |\Delta y_i M_{ij}| \right)$ разів,

де $s_{\min}$ – мінімальне сингулярне число матриці $\mathbf{A}_0$, $\Delta\mathbf{Y}$ – абсолютна похибка вектора вимірювань.

Показано, що залежність числа обумовленості від еквівалентних перетворень СЛАР є удаваною і запропоновано спосіб визначення дійсного числа обумовленості шляхом передобумовлювання, яке базується на розгляді еквівалентної СЛАР, одержаної з початкової, з попереднім відшукуванням такого оптимального вектора коефіцієнтів, щоб еквівалентна СЛАР мала обумовленість найменшу із усіх можливих. Поставлену задачу формалізовано як задачу векторної оптимізації, яка полягає у пошуку вектору $\mathbf{K} = [k_i]_{1 \times n}$, при якому досягається $\min_{\mathbf{K}} \text{cond}(\mathbf{A}')$, де $\mathbf{A}' = \mathbf{A} \times \text{diag}\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ – матриця еквівалентної СЛАР $\mathbf{A}'\mathbf{X} = \mathbf{Y} \times \text{diag}\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, тобто ставиться задача пошуку $\min_{\mathbf{K}} \{f_1(\mathbf{K}), f_2(\mathbf{K}), \dots, f_k(\mathbf{K})\}$, $k \geq 2$, де $f(\mathbf{K}) = \text{cond}(\mathbf{A}')$.

Розвинуто теорію статистичних методів регуляризації обернених задач за рахунок залучення додаткової інформації про об'єкт шляхом підвищення кількості вимірювань вихідних параметрів, який відрізняється можливістю застосування для полімодального закону розподілу вільних членів $\mathbf{Y} = [y_i]_{1 \times n}$ системи (12), при цьому обґрунтовано перехід до систем рівнянь з нормально розподіленими векторами вільних членів, для чого вперше запропоновано провести декомпозицію суміші ГР, перейти до дискретного розподілу вимірюваних величин $\{y_{ji}\}_{i=1}^P$, де P – кількість вимірювань, класифікувати величини на k класів шляхом дискримінантного аналізу, використовуючи функцію максимальної правдоподібності $L(f_{ji} | y_{ji})$, і розв'язувати замість (12) k систем рівнянь типу $\mathbf{AX} = \mathbf{Y}_j \quad \forall j = \overline{1, k}$, де $\mathbf{Y}_1 = [r_{i1} m_{i1}]_{1 \times n}$, $\mathbf{Y}_2 = [r_{i2} m_{i2}]_{1 \times n}, \dots, \mathbf{Y}_k = [r_{ik} m_{ik}]_{1 \times n}$.

Показано, що покращити стійкість $\mathbf{X}$ можна не лише регуляризацією шляхом дії на оператор $\mathbf{A}$, що через певні причини не завжди можливо у виробничих умовах, але і впливаючи на вектор вимірюваних параметрів $\mathbf{Y}$, базуючись на його статистичній природі. Крім того, в припущенні, що елементи вектора вимірювань $\mathbf{Y}$ розподілені нормально, базуючись на залежності

$$(\Delta \mathbf{Y})^T \Sigma^{-1} \Delta \mathbf{Y} = \left[n(k-1)/(k(k-n)) \right] F_{1-p}, \quad (11)$$

де $\Sigma = \text{cov}(\mathbf{Y})$, розроблено статистичний алгоритм забезпечення заданої точності розв'язку СЛАР, який полягає у ітераційному пошуку такої мінімально необхідної кількості вимірювань k випадкової величини, яке б забезпечило задану точність розв'язку СЛАР $\|\Delta \mathbf{X}_{\text{дон}}\|$ [7].

При неможливості одержання стійких розв'язків СЛАР (12) шляхом збільшення кількості вимірювань запропоновано використання методу усіченої оцінки. Метод базується на залученні методу головних компонент як лінійної фільтрації оцінки найменших квадратів (ОНК) $\hat{\mathbf{X}}$. Суть фільтрації полягає у такій дії на ОНК, яка б істотно звузила еліпсоїд розсіювання ОНК шляхом стиснення інформації, яка міститься у матриці розсіювання $\hat{\mathbf{a}} = (\mathbf{Y} - \langle \mathbf{Y} \rangle)^T (\mathbf{Y} - \langle \mathbf{Y} \rangle)$, завдяки «усіченню» «хвоста» спектра матриці Фішера

$$\mathbf{I} = ((\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}})^T (\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}))^{-1}. \text{ Для цього інформаційна матриця Фішера спектрально розкладається як } \mathbf{I} = \mathbf{V} \mathbf{D} \mathbf{V}^T,$$

$\mathbf{D} = \text{diag}(l_1, l_2, \dots, l_n)$, де $l_1 \geq l_2 \geq \dots \geq l_n > 0$ – її власні значення, $\mathbf{V}$ – ортогональна матриця, стовпці якої задають напрями головних осей еліпсоїдальної області допустимих оцінок некоректно поставленої задачі [8]. Тоді ОНК розкладається за системою власних векторів матриці Фішера як $\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{V} \hat{\mathbf{p}}$, де $\hat{p}_1, \hat{p}_2, \dots, \hat{p}_n$ – головні компоненти ОНК. Застосовуючи усічену (відфільтровану) матрицю власних векторів $\mathbf{V}_{n_{\min}}$, де $n_{\min}$ – кількість залучених компонент, регулярна усічена оцінка ОНК має вигляд $\mathbf{X}_{tr} = \mathbf{V}_{n_{\min}} \mathbf{V}_{n_{\min}}^T \hat{\mathbf{X}}$.

Оскільки $\mathbf{Y}_0$ лишається невідомим, реальну точність розв'язків визначити неможливо. З огляду важливості в практичних задачах хоча б наближеної оцінки похибок розв'язків, в роботі запропоновано після оберненої розв'язувати відповідну їй пряму задачу.

Задачі, пов'язані з оптимізацією. Конкретний метод оптимізації застосовується індивідуально до розв'язуваної задачі з достатньо великої бібліотеки детально розроблених алгоритмів оптимізації.

Оскільки результати багатокритеріальної оптимізації суттєво залежать від вибору базового варіанту об'єкту, тобто точки $\mathbf{X}_0$, були запропоновані деякі пов'язані з цим рекомендації. Оптимізацію допусків необхідно здійснювати, виконуючи оптимальним чином побудову таких, що розширюються від базової точки, областей первинних факторів з перевіркою на кожному кроці справедливості обмежень (1).

Ця базова точка часто може бути визначена з фізичних або практичних міркувань. Але існують випадки, коли ця точка невідома і задача її визначення стає складною. Рекомендації вибору базової точки базуються на наступних міркуваннях.

За базові точки слід вибирати такі точки простору $\mathbf{R}^l$, в яких першою координатою є одне із значень математичних сподівань випадкової величини, яка описує розподіл першого первинного фактора, другою – другого і т.д. Комбінуючи значення математичних сподівань первинних факторів, ми отримаємо кінцевий набір номінальних точок. Розв'язання задачі оптимізації для кожної з визначених вказаним чином номінальних точок дозволить встановити множину оптимальних областей в просторі первинних факторів. Серед цих областей і вибирається оптимальна в сенсі визначених раніше критеріїв (6).

При побудові областей при розширенні від базової точки перевірка виконання обмежень на кожному шляху оптимізації процесу може здійснюватись на множині рівномірно розподілених точок, що належать до побудованої області. Але в деяких практичних ситуаціях ця перебіркова техніка може бути спрощена. Наприклад, коли частинні похідні функцій (3) мають незмінні знаки, перевірку можна здійснювати лише в кутових точках області.

Оскільки кількість базових точок може бути більше 1, природно реалізувати алгоритм оптимізації для кожного можливого базового варіанту окремо і вибирати найоптимальніший з них з точки зору критеріїв (6).

Можливе застосування розробленої комплексної методики. Розглянутий підхід є природним відбиттям низки реальних ситуацій проектування, створення і експлуатації машин. В роботі була поставлена в загальному вигляді і розв'язана задача формалізації проблеми забезпечення ТУ функціонування машин шляхом синтезу області працездатності, завдяки чому стало можливим :

- ставити і розв'язувати задачу синтезу конструкторських варіантів, що володіють оптимальною чутливістю до виробничих і експлуатаційних відхилень їх первинних факторів, тобто пов'язати безпосередньо вибір базового варіанту вузла з особливостями його практичної реалізації;
- формалізувати значну кількість важливих різноманітних задач проектування, конструювання, виробництва і випробувань машин незалежно від галузі призначення.

В результаті проведених досліджень запропоновано загальну комплексну методику оптимального забезпечення заданого рівня працездатності машин у вигляді постановки і розв'язання обернених задач (рис. 3).

Приклади застосування. Частково або повністю методика була застосована для різноманітних вузлів машин, при виробництві чи (або) експлуатації яких мали місце порушення їх вихідних параметрів, що супроводжувалось виходом з ладу або їх руйнуванням.

Зокрема, в роботах [9, 10] шляхом застосування методу побудови гібридних статистично-детермінованих моделей вдалося в 12,8 разу зменшити кількість необхідних експериментів і шляхом розв'язання оберненої задачі працездатності забезпечено стабільність потужності літакового відповідача.

В роботах [11, 12] встановлено, що найбільш прийнятними і стійкими є відносно нескладні розрахункові моделі роторів, що швидко обертаються, які відрізняються тим, що в них використовуються отримані в результаті експериментів точні, еквівалентні даним розрахунковій схемі, значення параметрів: жорсткостей, мас, прогинів і т.д. Показано, що десятимасовий ротор може бути представлений одномасовою моделлю і давати в розв'язку задачі ідентифікації достатньо точні результати, якщо в неї будуть підставлені точні дані параметрів моделі, еквівалентні даним розрахунковій схемі. Застосування методів підвищення стійкості розв'язків дозволило розв'язати задачу ідентифікації ексцентриситетів в моделі і без спрощення моделі до одномасової. Використовуючи розроблений метод пробних параметрів, була ідентифікована АЧХ авіадвигуна АІ-20 і це дозволило побачити повну картину коливань і пояснити причини всіх резонансів.

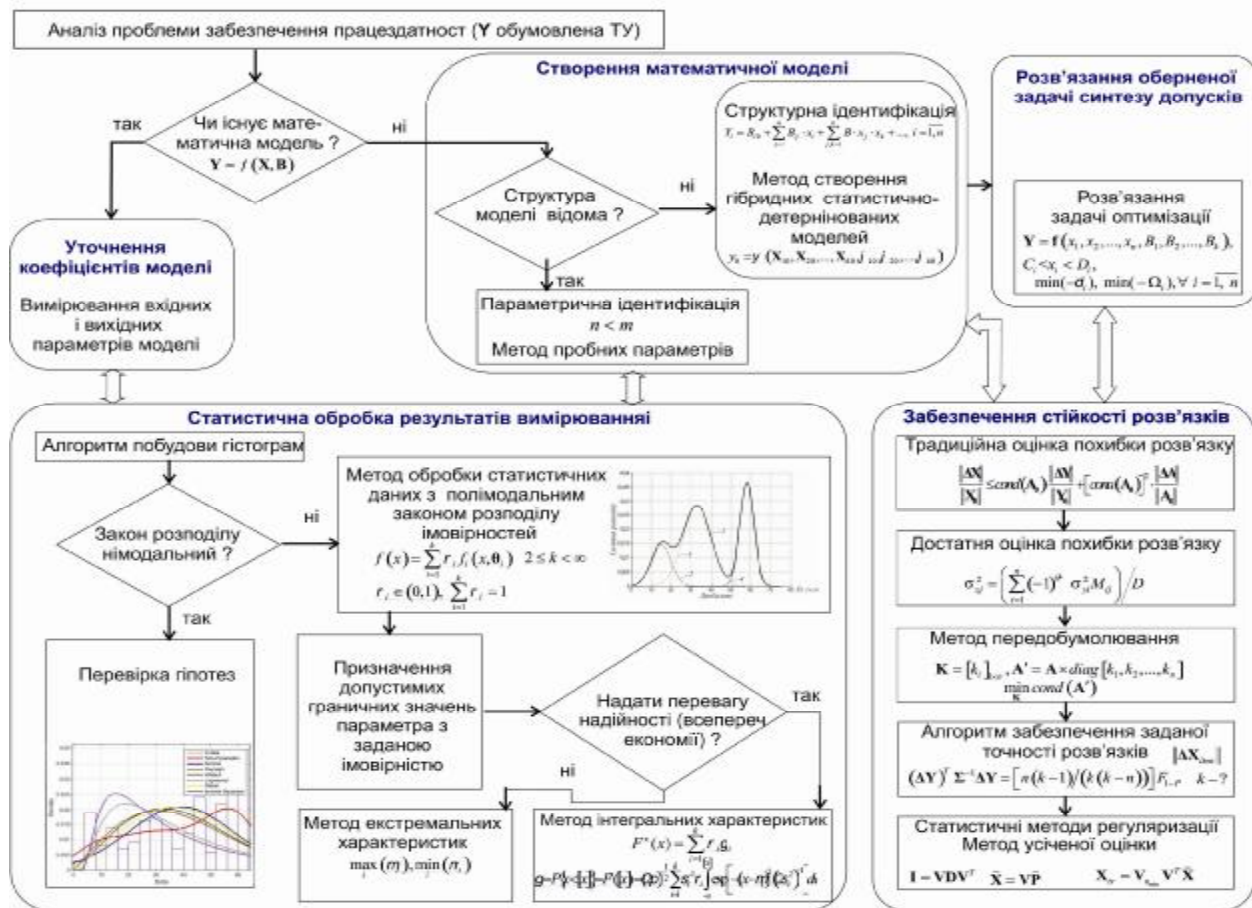


Рис. 3. Комплексна методика розв'язання обернених задач забезпечення працездатності деталей і вузлів машин

В роботах [13, 14] з метою зниження віброактивності ротора ТНА, поставлена і розв'язана обернена задача пошуку допустимих значень ексцентриситетів для забезпечення обумовленого в ТУ значення реакцій опор в 300Н для наступного балансування на низькооберткових балансувальних верстатах. Розв'язок показав, що для цього ексцентриситети основних мас ротора повинні не перевищувати 0,0008 мм, що не може бути реалізованим на практиці, тобто в існуючій технології задача не має розв'язку. Поставлена і розв'язана обернена задача параметричної ідентифікації ексцентриситетів, жорсткостей, мас, приведених до математичної моделі опису ротора в припущенні, що ротор ТНА деформується в роботі, і його потрібно балансувати на робочих частотах і в трьох площинах корекції. Для збільшення точності ідентифікації і забезпечення стійкості розв'язків був застосований статистичний метод підвищення стійкості рішень обернених задач. Ідентифікована амплітудно-частотна характеристика ТНА. Досліджено динаміку ТНА. Знайдені значення і фазові кути розташування ексцентриситетів дозволили провести балансування на робочій частоті обертання в трьох площинах корекції, в результаті якої вібрації знизилися приблизно в 6 разів, амплітуди вібрацій опор – в 4 рази, статичні напруження в матеріалі вала – в 3,5 разу, а динамічні – в 3 рази.

Висновки

В результаті проведених теоретичних досліджень і результатів їх застосування вирішено важливу науково-технічну проблему підвищення працездатності механічних систем.

1. Формалізовано задачі забезпечення працездатності машин як обернені задачі синтезу допусків, окреслено основні проблеми їх розв'язання. На основі формалізації частинних задач сформульована загальна задача конструктивного і (або) технологічного забезпечення заданих вимог на експлуатаційні характеристики якості машин як множинна обернена задача.

2. Розроблений узагальнений метод статистичної обробки емпіричних даних, що

підпорядковуються полімодальним законам розподілу імовірностей, який базується на представленні емпіричної густини розподілу як суміші унімодальних законів розподілу. Метод дозволяє розкрити внутрішню структуру даних із врахуванням можливої полімодальності закону їх розподілу і поряд з обґрунтованим вибором кроку побудови гістограм дає правила роботи з такими даними. Вперше розроблено метод визначення множини допустимих значень параметрів об'єктів у випадку полімодальності законів розподілу імовірностей їх вибіркових емпіричних значень, що дозволяє одержати з певною надійністю границі допусків цих параметрів у генеральній сукупності. За допомогою методу знайдено причини полімодальності розподілу дисбалансів партії авіадвигунів і з більшою точністю і надійністю були визначені допустимі значення границі міцності кераміки резисторів електронних вузлів машин

3. Вперше розроблений метод пробних параметрів для параметричної ідентифікації математичних моделей механічних систем машин з врахуванням ступеня ідеалізації реальних машин і їх умов експлуатації. За допомогою методу ідентифіковано реальні пружно-інерційні і дисипативні характеристики ротора компресора авіадвигуна АИ-20 за результатами експериментів, що дозволило ідентифікувати АЧХ двигуна і пояснити походження всіх резонансів.

4. Розвинуто теорію статистичних методів регуляризації обернених задач, зокрема запропоновано нову реалізацію статистичного методу регуляризації, який базується на ОНК, розроблено метод наближеного оцінювання точності розв'язків СЛАР, що базується на залученні додаткової інформації шляхом підвищення кількості вимірювань вихідних параметрів. Вперше розроблений статистичний алгоритм забезпечення стійкості розв'язків погано обумовлених СЛАР з наперед заданою точністю, який полягає у ітераційному пошуку такої мінімально необхідної кількості вимірювань випадкової величини, яке б забезпечило задану точність розв'язку СЛАР. Застосування цих методів і алгоритмів дозволило з заданою точністю знайти ексцентриситети роторів і фізико-механічні характеристики матеріалів.

5. Розроблена комплексна методика розв'язання обернених задач забезпечення працездатності деталей і вузлів машин, що була повністю і частково застосована на практиці для низки вузлів реальних машин.

Література

1. Абрамов О. В. Оптимальный параметрический синтез по критерию запаса работоспособности / О. В. Абрамов, Я. В. Катугева, Д. А. Назаров // Проблемы управления. – 2007. – № 6. – С. 64–69.
2. Назаров Д. А. Двоичная многоуровневая детализация элементов сеточного представления области работоспособности / Д. А. Назаров // Надежность и качество : труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза : Изд-во ПТУ, 2010. – Т. 1. – С. 337–341.
3. Зайцев Г. Н. Нормирование точности геометрических параметров машин : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г. Н. Зайцев, С. А. Любомудров, В. К. Федюкин ; под ред. В. К. Федюкина. – М. : Академия, 2008. – 368 с.
4. Кофанов Ю. Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности радиоэлектронных средств / Ю. Н. Кофанов. – М. : Радио и связь, 1991. – 360 с.
5. Шило Г. Н. Расчет и назначение допусков методом касательных / Г. Н. Шило, А. Ю. Воропай, Н. П. Гапоненко // Изв. вузов «Радиоэлектроника». – 2006. – № 2. – С. 43–52.
6. Петренко А. И. Основы автоматизации проектирования / Петренко А. И. – К. : Техніка, 1982. – 295 с. (Б-ка инж-ра).
7. Горошко А.В. Шляхи підвищення точності розв'язків зворотних задач / А.В. Горошко, В.П. Ройзман // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 6. – С. 60–69.
8. Pietraszek Jacek. The Principal Component Analysis of Tribological Tests of Surface Layers Modified with IF-WS2 Nanoparticles / Pietraszek Jacek, korzekwa Joanna, Goroshko Andrii // Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications, Switzerland, Vol. 235 (2015) pp. 9–15.
9. Горошко А.В. Забезпечення працездатності вузла тертя механічної системи літакового відповідача / А.В. Горошко, В.П. Ройзман // Проблемы трибологии. – 2015. – № 4 (78). – С. 54–63.
10. Goroshko A. Construction and practical application of hybrid statistically-determined models of multistage mechanical systems / A. Goroshko, V. Royzman, J. Pietraszek // Mechanics. – 2014. – Т. 20. – № 5. – pp. 489–493.
11. Goroshko A.V. Increase in Solution Stability of Ill Conditioned Dynamics Problems / A.V. Goroshko, V.P. Royzman // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2016, Vol. 45, No. 1, pp. 24–28.
12. Горошко А.В. Застосування методу головних компонент для усередненої оцінки найменших квадратів під час розв'язання оберненої задачі ідентифікації ексцентриситетів ротора / А.В. Горошко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 6. – С. 49–53.
13. Горошко А.В. Метод пробних параметрів в задачі ідентифікації ротора з метою зменшення його вібрацій / А.В. Горошко, В.П. Ройзман // Нафтогазова енергетика : всеукр. наук.-техн. журн. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – № 2(24). – С. 53–58.
14. Горошко А.В. Исследование динамики и снижение виброактивности турбонасосного агрегата путем решения обратных задач / А.В. Горошко, В.П. Ройзман // Машиностроение и инженерное образование. – 2014. – № 1. – С. 29–35.

ВИГОТОВЛЕННЯ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК, МЕТОДАМИ РОТАЦІЙНОЇ ВИТЯЖКИ

Проаналізовано вплив основних факторів на формоутворення при ротаційній витяжці деталей із тонкостінної оболонки і запропоновано методику (послідовність) дій по забезпеченню розробки технологічного процесу для виготовлення деталей методами ротаційної витяжки з допомогою верстатів з ЧПК. Отримана методика дозволяє розробляти раціональні технології виготовлення деталей складної опукло-вигнутої форми методами ротаційної витяжки, шляхом забезпечення оптимальних значень та заданих законів зміни параметрів процесу ротаційної витяжки.

Режими ротаційної витяжки та параметри процесу, при яких забезпечується стійкість формозмінення заготовки без її руйнування визначається методами теорії стійкості та прикладної теорії деформованості.

Ключові слова: ротаційна витяжка, технологічний процес, осесиметричні, гофроутворення, керування, траєкторія.

Y. I. SHEVCHUK, K. I. SHEVCHUK, I. O. SYVAK, O. M. MIRONENKO

Vinnitsia National Technical University

MANUFACTURING AXISYMMETRIC DETAILS WITH COMPLEX FORM ON CNC MACHINES, ROTARY DRAWING METHODS

The influence of main factors on the forming process by rotary drawing of parts, made from a thin-wall shell, is analyzed and procedure (sequence of actions) is proposed in order to provide a technological process for manufacturing parts by rotary drawing methods using CNC machine tools. The obtained procedure makes it possible to develop rational technologies for manufacturing parts of a complex convex-concave shape by rotary drawing methods, ensuring optimal values and definite variation laws for the parameters of rotary drawing process.

Rotary drawing processes and the process parameters, which provide the blank forming stability without its destruction, are determined by the methods of stability theory and the applied theory of deformability.

Keywords: rotary extract, process, axisymmetrical, mountain building, control, trajectory.

Вступ

Ротаційна витяжка – це процес локального циклічного деформування плоскої або порожнистої заготовки, що обертається, деформуючим інструментом у вигляді одного або декількох роликів. Інструменти при ротаційній витяжці найчастіше не прив'язані до геометрії деталей, тому даний спосіб має високу формоутворювальну гнучкість не тільки в сфері серійного виробництва, а й при виготовленні обмеженої кількості деталей і виготовлення одиничних прототипів і є реальною альтернативою звичайному листовому штампуванню при виготовленні осесиметричних деталей [1, 2].

В даний час не вирішені проблеми точного виготовлення осесиметричних деталей складної форми методами ротаційної витяжки на різних видах напівавтоматичних верстатів. Завдяки використанню верстатів з числовим програмним керуванням розроблено нові технології, оснащення та інструмент, автоматизовано ротаційну витяжку та розширено спектр сучасних методів виготовлення порожнистих осесиметричних деталей [3].

Основні переваги ротаційної витяжки в порівнянні зі штампуванням полягають в наступному: універсальність і широкі технологічні можливості процесу; простота і низька вартість оснащення та інструменту; можливість обробки різанням і пластичним деформуванням на одному верстаті; висока концентрація операцій і можливість остаточного виготовлення виробів складної форми на одному робочому місці.

Вартість оснастки для ротаційної витяжки складає 5–10% від вартості інструментальних штампів, а вага в порівнянні з вагою штампів – близько 15–20%, а іноді й менше. Завдяки її впровадженню терміни підготовки виробництва зменшуються в 5–10 разів. Деталі виготовлені методом ротаційної витяжки на верстатах з ЧПК повністю відповідають вимогам, які ставляться до виробів, отриманих штампуванням [4].

Постановка та викладання основного матеріалу

Метою даної роботи є забезпечення якості та необхідної геометричної форми осесиметричних деталей з листових заготовок, отриманих методами ротаційної витяжки на обладнанні з ЧПК, на основі розробки методики підготовки програм для верстатів з ЧПК, які дозволяють управляти параметрами процесу та забезпечувати стійкість формозмінення заготовки без її руйнування.

Виконані дослідження показали, що швидкість подачі, частота обертання шпинделів, потужність, жорсткість і тягові зусилля сучасних токарних верстатів з ЧПК в основному задовольняють вимогам, що пред'являються до таких технологій.

При числовому управлінні такими верстатами задається інформація як про швидкість обертання заготовки, швидкість подачі і прискорення переміщення, так і про траєкторію руху робочих інструментів, завдяки чому при розробці програми можна добитися максимального використання пластичних властивостей матеріалу і створення найсприятливіших умов деформування. Ці параметри можна змінювати в будь-який момент на кожному переході, домагаючись заданої шорсткості поверхні, високої точності і високої продуктивності обробки. Програма може бути тривалою, що дає можливість повністю обробляти

оболонки складної форми. Витяжку можна вести як на оправці, форма якої співпадає з кінцевою формою деталі, так і на простій оправці, добиваючись додержання потрібної форми виробу шляхом призначення необхідних режимів обробки.

Підготовка програм для ротаційної витяжки (РВ) на верстатах з ЧПК трудомістка і складна, тому актуальні проблеми розробки прогресивної технології і способів автоматизації підготовки програм. Для автоматичного програмування роботи верстатів з ЧПК нами використані графічні САП AutoCAD, T-FLEX, КОМПАС- 3D, SolidWorks, а для програмування в MG кодах використані системи ArtCam, T-FLEX, SolidWorks, розроблені для токарних верстатів.

Технологічна підготовка програм. Підготовка керуючої програми для верстатів з ЧПК складається з трьох стадій: технологічної, математичної та програмування.

Технологічна підготовка програм для РВ порожнистих деталей на токарних верстатах з ЧПК істотно відрізняється від технологічної підготовки для токарно-давильних верстатів інших видів. Це пояснюється в першу чергу тим, що зростає складність технологічних завдань. Управляючі програми розробляються або на ЕОМ з використанням систем автоматичного програмування (САП), або ручним способом. Підготовку вихідних даних виконує технолог-програміст, знайомий з основами РВ і з мовою програмування конкретної системи САП [5].

Готова система САП для обробки деталей РВ авторам не відома. Тому нами для реалізації процесу використані згадані вище САП з елементами ручного програмування. Таке програмування проводиться в певній послідовності: вивчення існуючих методів виготовлення деталей на токарно-давильних верстатах; розробка технологічної документації та керуючої програми; перевірка і корегування програми.

Ознайомлення з існуючими методами виготовлення деталей на токарно-давильних верстатах в першу чергу переслідує мету максимального використання відомих технологічних прийомів та існуючого оснащення і інструменту. При цьому вивчають маршрут технологічного процесу обробки деталі, аналізують зміну форми заготовки на кожному парному і непарному ходах, а також після кожної операції, яка планується на верстатах з ЧПК. Визначають способи базування, методи витяжки окремих елементів проміжних заготовок, спеціальні технологічні прийоми, використовувані при автоматизованій РВ. Визначають необхідні пристосування, давильний і ріжучий інструмент, який використовується на всіх операціях.

Розробляють детально операції технологічного процесу повної обробки деталі. Встановлюють режими обробки окремих ділянок деталі, використовуючи наявний технологічний досвід, елементи теорії РВ, загальні положення обробки металів тиском і різанням з урахуванням технологічних можливостей верстата з ЧПК. Зміст процесу записується в операційно-технологічну карту, до якої додається ескіз оброблюваної на даній операції деталі.

На основі операційно-технологічної карти і схеми руху давильного і ріжучих інструментів розробляється розрахунково-технологічна карта (РТК), за якою складається карта програмування, яка є вихідним документом для розробки керуючої програми. Розроблена керуюча програма проходить ряд перевірок і при необхідності коригується.

При технологічній підготовці операцій РВ деталей на верстатах з ЧПК недостатньо виготовити керуючі програми для здійснення певних траєкторій руху давильного інструменту. Перш за все необхідно забезпечити стабільність процесу, стійкість процесу витяжки заготовки. Запобігти гофроутворенню і надмірному стоншенню, забезпечити задану точність, високу продуктивність обробки деталей в автоматичному режимі роботи верстата. Це досягається шляхом технічно обґрунтованого вибору моделі верстата з ЧПК, допустимих ступенів деформації, частоти обертання заготовки, величин подач, геометричних параметрів обладнання і інструмента. Верстат з ЧПК вибирають з умови забезпечення необхідних зусиль деформування і продуктивності обробки при заданих розмірах заготовки і механічних властивостях матеріалу. При виборі верстата враховують його технологічні можливості, забезпечення повного завантаження і відпускну ціну.

Бажано, щоб технологічне оснащення для РВ на токарних верстатах з ЧПК було жорстким, недорогим та забезпечувало необхідну точність обробки.

Особливе значення для вибору давильного інструменту набуває питання його кріплення на супорті, виключення биття і розмірна ув'язка вихідної точки обробки з системою координат деталі. При проектуванні і виготовленні давильного інструменту для верстатів з ЧПК повинні бути забезпечені необхідна жорсткість, точність і мінімальне биття.

Порожнисті і листові заготовки, які обробляються на верстатах з ЧПК, повинні мати добре підготовлені базові поверхні. Проміжні заготовки повинні бути досить жорсткими і стійкими при формоутворенні. Якщо конфігурація або форма дна готової деталі не дозволяє виконати перелічені вимоги, то необхідно їх забезпечити технологічними способами. Кріплення оправки, заготовки та інструменту повинні мати високу надійність. При витяжці глибоких деталей верстат з ЧПК необхідно обладнати пристроєм для знімання деталей з оправки і підтримуючим роликом, сприяючим підвищенню стійкості формоутворення заготовки з високим фланцем.

Механічна обробка різцями при РВ програмується тими ж методами, що й на звичайні токарній операції, з урахуванням особливостей різання тонкостінних оболонок.

Головне завдання технологічної підготовки обробки тонкостінних оболонок на верстатах з ЧПК полягає в забезпеченні ефективності методів формоутворення оболонки в порівнянні з їх виготовленням на

давальних верстатах з ручним керуванням. Це досягається в першу чергу технічно обґрунтованим відбором номенклатури деталей, витяжку яких економічно і доцільно проводити на верстатах з ЧПК. Сюди відносяться насамперед великі деталі складної конфігурації, для виготовлення яких потрібні штампи і обладнання високої вартості.

Проектування технологічних процесів. Особливості проектування технологічного процесу для РВ оболонок на верстатах з ЧПК вимагають більш ретельної підготовки вихідних даних в порівнянні з підготовкою аналогічних даних для автоматизованих токарно-давальних верстатів з цикловою системою керування. Обсяг вихідних даних для проектування технологічного процесу РВ на верстатах з ЧПК дуже великий, що викликано високим рівнем автоматизації виконуваних операцій [5].

Основними вихідними даними для проектування технологічного процесу РВ на верстатах з ЧПК є креслення і технічні умови на виготовлення деталі, розмір програмного завдання, послідовність операцій і переходів, схеми обробки проміжних заготовок, траєкторії руху давильного та ріжучого інструментів.

Операційний технологічний процес РВ для верстатів з ЧПК проектується на основі техніко-економічних принципів. Відповідно до технічних принципів технологічний процес повинен забезпечувати стійкість протікання формоутворення оболонок, виконання вимог креслення деталі і технічних умов на її виготовлення. Відповідно до економічних принципів деталі повинні оброблятися при мінімальних витратах часу і найменшій собівартості. Тому, проектуючи технологічну операцію, прагнуть до зменшення штучного часу і до використання недорогого верстата з ЧПК, оснащення та інструменту. Основний час можна скоротити шляхом зменшення числа і тривалості переходів при РВ і використання високопродуктивних режимів обробки різанням. Допоміжний час скорочують за рахунок зменшення часу холостих ходів верстата і часу на заміну інструменту, а також застосування найбільш досконалих пристосувань для встановлення заготовки і зняття готових деталей. Особливо це відноситься до складних глибоких деталей. При проектуванні технологічного процесу РВ необхідне точне визначення траєкторій руху інструменту в системі координат верстата, а також ув'язка вихідної точки обробки з положенням заготовки.

При підготовці керуючої програми роботи верстата з ЧПК методом автоматичного отримання кінцевих розмірів оболонки виникає необхідність складання докладного плану операції і розрахунку режимів витяжки для всіх технологічних переходів. При цьому можливе застосування математичних методів оптимізації. Можуть оптимізуватися сили, метод витяжки, форма робочої траєкторії руху давильного ролика, число і послідовність переходів, траєкторії допоміжних переміщень і холостих ходів інструменту, тощо. Для оптимізації окремих складових технологічного процесу і режимів витяжки можуть бути використані ЕОМ. У зв'язку з цим актуальним є подальше дослідження особливостей РВ на верстатах з ЧПК.

Маршрут обробки пластичним деформуванням і різанням оболонкових деталей на верстаті з ЧПК визначається прийнятою схемою формоутворення і послідовністю обробки окремих ділянок, погоджених з комплексом оснащення, давильного та ріжучого інструменту. Від вибору послідовності операцій і переходів залежить стійкість процесу, якість деталі і продуктивність її обробки. При виборі методів і послідовності обробки деталі на верстатах з ЧПК необхідно керуватися принципами, покладеними в основу ручної витяжки і витяжки на автоматизованих токарно-давальних верстатах з цикловою системою керування, враховуючи при цьому широкі технологічні можливості верстатів з ЧПК.

В окремих випадках слід застосовувати траєкторії руху інструменту які забезпечують більш високі ступені деформації, з поверненням для подальшого згладжування нерівностей. Слід враховувати, що на верстатах з ЧПК передбачені можливості складних рухів для швидких холостих ходів в прямому і зворотному напрямках.

При РВ завдяки локальному навантаженню заготовки легко виявляються дефекти в металі. Тому при встановленні послідовності обробки відповідальних деталей з дефіцитних матеріалів або деталей, в заготовках яких часто зустрічаються дефекти металу, необхідно виділяти небезпечні місця. Для виявлення дефектів візуально і контрольних промірів потрібно передбачити зупинку шпинделя на незначний час.

Визначення числа операцій і переходів РВ слід починати з вибору методу витяжки, числа оправок і способу базування на кожній операції до повної обробки. При цьому треба враховувати особливості конструкції деталі та технологічні можливості верстата. Першу установку зазвичай вибирають із умови найбільш зручного формоутворення і базування заготовки.

Кінцевою метою при визначенні послідовності операцій являється встановлення такої схеми, яка забезпечує стійке протікання процесу витяжки, необхідну якість деталі, найбільш повну обробку з найменшим штучним часом.

Особливості проектування технологічних процесів з використанням верстатів з ЧПК. Проектування технологічної операції РВ на токарному верстаті з ЧПК складається з комплексу завдань, які доводиться вирішувати при використанні як звичайних токарно-давальних верстатів з автоматичним керуванням, так і верстатів з ЧПК. До таких завдань відносяться вибір методу РВ, числа операцій, схеми виготовлення проміжних заготовок, способів базування і конструкції оправок, конструкції і розмірів ролика давильного інструменту, а також розрахунок режимів і норм часу.

Поряд з цим для розробки керуючої програми роботи верстата з ЧПК необхідно побудувати траєкторії руху ролика і визначити координати опорних точок траєкторій. Усю отриману інформацію необхідно занести в операційну розрахунково-технологічну карту, потім описати певним чином геометричні технологічні параметри і необхідні команди по керуванню робочим циклом верстата в карті програмування.

На завершальному етапі отримані дані в установленому коді записують на носій програми. Отримана таким чином керуюча програма перед використанням у виробничих умовах перевіряється моделюванням процесу обробки з допомогою ЕОМ і при необхідності коригується.

При РВ на токарних верстатах з ЧПК застосовують три основні схеми базування: по отвору, виступу або по площині. Базові поверхні утворюються при виготовленні заготовки. Ці схеми установки при відповідній підготовці базових поверхонь відповідають вимогам, які ставляться до установки деталей на токарних верстатах з ЧПК. Прийняті схеми базування визначають форму заготовок і конструкцію роликів.

Вибір траєкторій руху давильного ролика і розрахунок величини ротаційної витяжки є комплексним техніко-економічним завданням, вирішення якого полягає у виборі і комбінації рухів які забезпечують мінімум витрат на виготовлення деталі при заданих технічних обмеженнях. Для проектування схеми руху давальних та ріжучих інструментів необхідно побудувати траєкторії руху і допоміжних переміщень при обробці всіх поверхонь. Найбільшу складність представляє побудова траєкторії руху інструменту при багатоперехідній РВ. При цьому траєкторію розраховують графо-аналітичними методами з урахуванням відомих рекомендацій.

Кількість переходів та режими РВ будь-якої деталі визначають на основі оцінки деформованості матеріалу заготовки та стійкості формозмінення [6, 7]. На основі аналізу отриманих результатів будуються траєкторії з урахуванням визначених на стадії проектування допустимих ступенів деформації та деформуючих зусиль на кожному переході для кожної ділянки складної деталі при прийнятому методі РВ. При виборі вихідного положення "нуль інструменту" потрібно виходити з того, щоб найдовша траєкторія не виходила за встановлені межі.

Визначення оптимальних траєкторій руху давального ролика і режимів витяжки, що забезпечують мінімальну собівартість обробки, залежить від форми, розмірів і матеріалу заготовки, допустимого ступеня стоншення, особливості верстата з ЧПК, прийнятого критерію оптимізації, числа оптимізованих параметрів та ін.

У РТК та на інших схемах, побудованих для верстатів з ЧПК, рух давального ролика зображається як траєкторія переміщення центру кривизни робочої поверхні ролика. Схему рухів і деталь викреслюють з допомогою САП AutoCAD, SolidWorks, ArtCAM, КОМПАС-3D. Суцільними лініями вказують робочі рухи, штриховими - холості. Послідовно розташовані опорні точки, в яких змінюється напрямок руху інструменту, позначають арабськими цифрами. Напрямок руху вказують стрілками.

При великому числі інструментів і значному числі опорних точок слід викреслювати схему руху для кожного інструменту окремо.

З метою уникнення помилок рекомендується поєднувати викреслювання схеми руху інструментів зі складанням РТК. Де РТК дає всю інформацію для розрахунку та кодування траєкторій руху інструменту. Розрахунок, кодування і запис програм руху інструментів при РВ виконують тими ж методами, які застосовують при токарній обробці на верстатах з ЧПК.

Розглянемо процес ротаційної витяжки тонкостінної заготовки складної форми комбінованим методом виконання який можливий тільки на верстатах з ЧПК. Заготовка із алюмінію АД1 та сталі 10 товщиною 0,8, 1,0 та 1.2 мм. Яка закріплена на оправці і притискається болтом (рис. 1). Ролик підводиться до початкової точки O_i де він починає поступовий рух деформування. Заздалегідь розрахована еквідистанта руху давального інструменту складається з шляху підведення інструменту в початковий стан до початкової точки формоутворення O_i , робочий хід 1-2 і вихід в початковий стан по траєкторії 2-3- O_i . За нуль деталі при відтворенні еквідистанти зазвичай приймають точку O_0 місці перетину осей X і Y на правому.

При обробці деталі складної форми для досягнення оптимального результату, розробку програми було розбито на дві частини.

- Витяжка у форму конуса з кутом конуса 60° (рис. 1).
- Витяжка у складну опукло-ввігнуту форму траєкторія показана на (рис. 2).

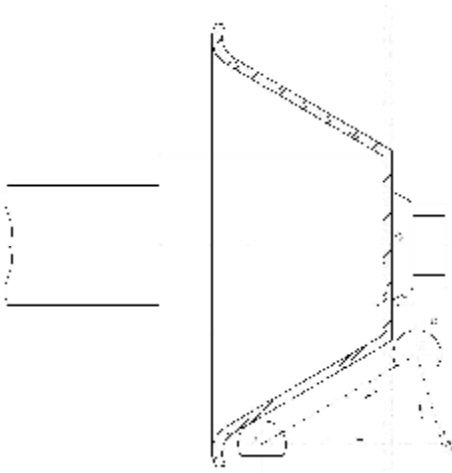


Рис. 1. Обробка деталі на першій операції у конічну форму

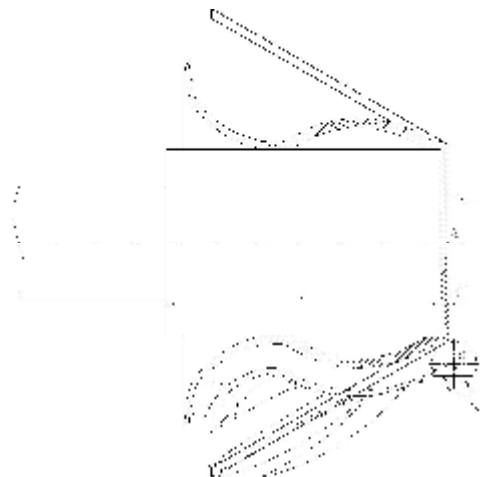


Рис. 2. Обробка деталі на другій операції у складну опукло-ввігнуту форму

Для забезпечення правильного виготовлення деталі було визначено раціональні геометричні параметри робочої поверхні ролика $R_{рол}=1,5$ мм, $R_{рол}=4,0$ мм та $R_{рол}=6,0$ мм кута α для листових заготовок товщиною $\delta=0,8$ мм, $\delta=1,0$ мм і $\delta=1,2$ мм із алюмінію АД1 і сталі 10. Виконано розрахунок напружено-деформованого стану в осередку деформації в залежності від параметрів процесу [8]. На основі отриманих результатів побудовано траєкторії навантаження в просторі з координатами: показник напруженого стану η , параметр Надаї-Лоде μ_{σ} , ступінь деформації e_{σ} , які були використані для розрахунків величини використаного ресурсу пластичності ψ [9] та його залежності від параметрів процесу РВ. Параметри процесу РВ підбирали так, щоб величина ψ на першому етапі не перевищувала значень $\psi \leq 0,4$, що є важливим фактором виготовлення деталі, так як отриману кінчну заготовку використовували в подальшому для виготовлення деталі більш складної опукло-вигнутої форми (рис. 2). В подальшому траєкторії руху інструменту і інші параметри процесу підбирали так, щоб після кінцевої обробки - $\psi \leq 0,80 - 0,85$.

Використання розроблених програм дозволило виготовити деталі опукло-вигнутої форми з листових заготовок із сталі 10 та алюмінію АД1 представлені на рисунку 3.



Рис. 3. Деталь опукло-вигнутої форми з листової заготовки із сталі 10 та алюмінію АД1

Висновки

Запропонована методика розробки програм для реалізації технологічного процесу ротаційної витяжки осесиметричних деталей складної форми на верстатах з ЧПК. Програма дозволяє задавати такі траєкторії руху інструменту, при яких забезпечується стійкість формозмінення заготовки без її руйнування.

При розробці програми управління рухом інструменту відносно деталі використані САП AutoCAD, SolidWorks, ArtCAM, КОМПАС-3D, де записувалися параметри обробки в МГ коди використовуючи ArtCam, та T-FLEX, розроблені для токарних верстатів з ЧПК.

Використання розроблених програм дозволило виготовити деталі опукло-вигнутої форми з листових заготовок із сталі 10 та алюмінію АД1.

Література

1. Сивак І.О. Розподіл внутрішніх силових факторів в перерізі циліндричної заготовки при локальному навантаженні / І.О. Сивак, О.М. Мироненко, Є.І. Шевчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 32 – 36.
2. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Могильный Н. И. – М. : Машиностроение, 1983. – 190 с.
3. Лозінський Д.О. Ротаційна витяжка осесиметричних деталей з використанням пропорційного електрогидравлічного приводу / Д.О. Лозінський, І.О. Сивак, Є.І. Шевчук, В.Г. Пилявець // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 4. – С. 21 – 24.
4. Яковлев С.С. Технологии изготовления осесиметричных деталей ротационной вытяжкой / С.С. Яковлев, В.И. Трегубов, Д.В. Дудука // Известия ТулГУ. Серия. Технологии и оборудование для обработки металлов давлением. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2010. – Вып. 3. – С. 121–127.
5. Петраков Ю.В. Повышение точности токарной обработки на станках с ЧПУ / Ю.В. Петраков, Д.П. Ковальчук // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: машинобудування. – 2013. – № 2 (68). – С. 134–138.
6. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
7. Грушко А. В. Карты материалов в холодной обработке давлением / А. В. Грушко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 348 с. – ISBN 978-966-641-622-6.
8. Сивак І.О. Напружений стан в осередку деформації листової заготовки при ротаційній витяжці осесиметричних деталей [Електронний ресурс] / І.О. Сивак, С.І. Сухоруков, Є.І. Шевчук // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – С. 6. – Режим доступу : <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3829/5589>
9. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение : (задачи автотехнической экспертизы) / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.

Рецензія/Peer review : 13.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 19.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Р.Д. Іскович-Лотоцький

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУД ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЯХ БАЛКИ ЭЙЛЕРА-БЕРНУЛЛИ С УЧЕТОМ НЕУПРУГОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Рассматриваются вынужденные поперечные колебания шарнирно опертой балки Эйлера-Бернулли с учетом внутреннего неупругого сопротивления. Вычислены максимальные значения безразмерных амплитуд изгибающих моментов, инвариантные относительно размерных параметров балки. Для балки с любыми размерными параметрами вычисление максимальных амплитуд, соответствующих заданным частотам вынужденных колебаний, сводится лишь к умножению на соответствующий размерный множитель уже вычисленных инвариантных безразмерных значений. На примере железобетонной балки проведен сравнительный анализ точных значений амплитуд для динамических изгибающих моментов, вычисленных по авторской методике, с аналогичными вычислениями в программных комплексах SCAD, ANSYS. Уточнены значения амплитуд в окрестности резонансных частот.

Ключевые слова: балка Эйлера-Бернулли, поперечные колебания, частоты вынужденных колебаний, резонанс, амплитуды изгибающих моментов.

Y.S. KRUTII, N.G. SURYANINOV, A.E. CHAIKOVSKY

Odessa State Academy of Construction and Architecture

DISTRIBUTION OF THE AMPLITUDE OF THE BENDING MOMENT AT THE FORCED TRANSVERSE VIBRATIONS BEAMS EULER-BERNOULLI WITH ALLOWANCE FOR INELASTICITY RESISTANCE

Are considered the forced transverse vibrations of simply supported Euler-Bernoulli beam, taking into account the internal elastic resistance. Calculate the maximum value of the dimensionless amplitude of the bending moments that are invariant with respect to the dimensional parameters of the beam. For beams with any dimensional parameters calculation of the maximum amplitudes corresponding to set the frequency of forced vibrations, reduces to multiplication by appropriate dimensional factor already calculated invariant dimensionless values. For example, reinforced concrete beam, a comparative analysis of accurate amplitude values for dynamic bending moments computed by the author's method, with similar calculations in software systems SCAD, ANSYS. Refined values of the amplitudes in the vicinity of the resonance frequencies.

Keywords: Euler-Bernoulli beam, transverse vibrations, frequency of forced oscillations, resonance, the amplitude of the bending moments.

Введение. Влияние сопротивления на колебательные процессы имеет важнейшее прикладное значение. В отличие от расчета свободных колебаний, заключающегося в определении собственных частот и форм колебаний, а также вынужденных колебаний вдали от резонанса, которые производятся без учета трения, исследование колебаний вблизи резонанса требует учета сил сопротивления.

Рассеяние энергии при колебаниях может быть обусловлено внешним и внутренним трением. Внешнее сопротивление связано с сопротивлением среды, в которой происходят колебания, трением между поверхностями скольжения в сочленениях элементов, а также в опорах. Внутренне трение вызвано рассеянием энергии в самом материале за счет его несовершенной упругости. Влияние этих видов трения неодинаково и зависит от многих факторов: особенностей колебательной системы, материала, из которого изготовлены элементы системы, от параметров внешней среды, от формы колебаний. В большинстве случаев из двух видов сопротивлений, внутреннее неупругое сопротивление оказывает большее влияние на характер колебаний механических систем. А когда в роли внешней среды выступает воздух, вклад внутреннего неупругого сопротивления становится и вовсе доминирующим. Поэтому исследование колебаний механических систем с учетом внутреннего неупругого сопротивления является особенно актуальным.

Анализ исследований и публикаций. Первым наличие внутреннего трения в материале обнаружил Ш. Кулон при проведении опытов с крутильными весами. Экспериментальными исследованиями установлено, что упругие материалы не строго следуют закону Гука даже при деформациях, не выходящих за пределы упругости [1]. Этим и объясняются внутренние потери энергии при колебаниях.

О важности учета внутреннего трения в материале говорят исследования многих ученых, проведенные в начале XX века. Опыты Л.Ж. Гюи над внутренними потерями в материале при крутильных колебаниях металлических проволок показали совершенно незначительную роль трения воздуха по сравнению с потерями в самом металле. Установлено, что на долю внутреннего рассеяния энергии в материале приходится не менее двух третей всех потерь при колебаниях.

Несмотря на сложный характер рассеяния энергии в материале В. Фойгт, исходя из аналогии сил внутреннего трения в упругих телах с трением внутри жидкости, полагает, что силы внутреннего трения пропорциональны первой степени скорости колебаний и представляет его в виде вязкого трения. При исследовании установившихся гармонических колебаний известен еще один подход, при котором демпфирование учитывается пропорционально скорости деформации, деленной на частоту колебаний [2]. В этом случае оно пропорционально амплитуде колебаний.

Оба указанных способа применялись и применяются сейчас многими исследователями. Внутреннее трение, пропорционально скорости задавали и основоположники прикладной теории колебаний А. Н. Крылов [3] и С. П. Тимошенко [4]. Из более поздних исследований, связанных с учетом двух видов трения

при колебаниях отметим основополагающие работы Я.Г. Пановко [5] и Е.С. Сорокина [6].

Из современных исследований, связанных с учетом переменной массы при разных видах трения укажем на публикации В.П. Олышанского и С.В. Олышанского. В [7] в функциях Куммера получено решение уравнения свободных колебаний осциллятора, масса которого изменяется по экспоненциальному закону. Учтено влияние вязкого трения и реактивной силы. Эти же авторы [8] рассмотрели нестационарные колебания механической системы линейно-переменной массы с комбинированным трением.

Вопрос о колеблющихся судовых стержневых конструкциях с учетом сопротивления внешней среды различной плотности рассмотрен в [9]. Здесь учтены присоединенные массы жидкости, значительное внимание уделено учету сопротивления внешней и внутренней среды. Рассмотрено математическое моделирование колебаний на основе метода модуль-элементов. Выполнено экспериментально-численное моделирование задач по определению сопротивления внешней и внутренней среды. В частности, определены коэффициенты сопротивления судовых систем, колеблющихся в воздухе, в воде, в дизельном топливе и в машинном масле.

Проблеме влияния внутреннего трения и способа возбуждения на вынужденные колебания системы посвящена работа Н.Н. Берендеева [10]. Приводятся результаты метода исследования в рамках натурного эксперимента на лабораторном стенде и в рамках виртуального компьютерного эксперимента.

Цель работы заключается в следующем:

1. Вычисление максимальных амплитуд динамических изгибающих моментов при вынужденных колебаниях балки произвольной длины с произвольной постоянной жесткостью и погонной массой и с учетом сил внутреннего неупругого сопротивления.

2. Сравнение вычисленных точных значений максимальных амплитуд с аналогичными вычислениями в современных программных комплексах SCAD, ANSYS на примере железобетонной балки.

Изложение основного материала исследования. Рассмотрим вынужденные гармонические колебания шарнирно опертой балки с учетом сил внутреннего неупругого сопротивления. Общая схема колебаний представлена на рис. 1. На рис. 2 изображена схема усилий, действующих при колебаниях на элемент балки.

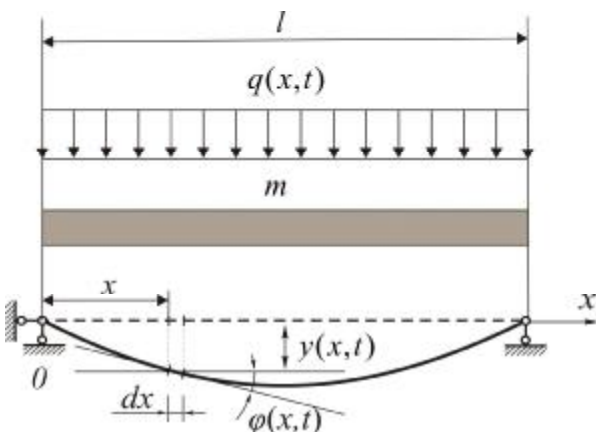


Рис. 1. Вынужденные поперечные колебания стержня

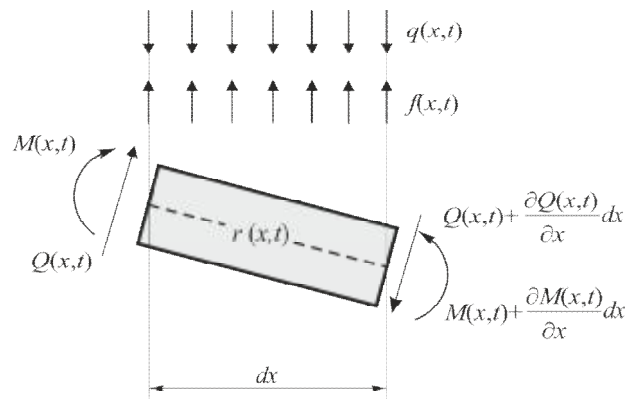


Рис. 2. Схема усилий, действующих на элемент стержня

Здесь приняты следующие обозначения:

$q(x,t) = q \sin q t$ – внешняя динамическая нагрузка, где q – постоянная амплитуда, q – частота возмущающей силы;

m – интенсивность распределенной массы (погонная масса) стержня;

$y(x,t)$ – поперечное перемещение точки оси стержня с координатой x в момент времени t (динамический прогиб);

$j(x,t)$ – динамический угол поворота;

$M(x,t)$ – динамический изгибающий момент;

$Q(x,t)$ – динамическая поперечная сила;

$r(x,t)$ – интенсивность сил внутреннего сопротивления;

$f(x,t) = -m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ – интенсивность сил инерции, возникающих в процессе колебаний (сила Даламбера).

Полагая, согласно скорректированной гипотезе Кельвина – Фойгта [11, 12],

$$r(x,t) = \frac{g}{q} EI \frac{\partial^5 y}{\partial t \partial x^4},$$

уравнение вынужденных колебаний балки запишем в виде [11, 12]

$$EI \left(1 + \frac{g}{q} \frac{\partial y}{\partial t} \right) \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = q \sin q t, \quad (1)$$

где g – коэффициент неупругого сопротивления (безразмерная постоянная величина для данного материала); EI – изгибная жесткость балки. К данному уравнению присоединим также заданные граничные условия:

$$y(0, t) = 0; M(0, t) = 0; y(l, t) = 0; M(l, t) = 0. \quad (2)$$

В связи с отсутствием в научной литературе точного решения уравнения (1), для исследования вынужденных колебаний балки с учетом внутреннего сопротивления до настоящего времени, как правило, применялись приближенные методы. Исключением может служить публикация М. Abu-Hilal [13], где определение динамического прогиба балки основывается на методе функций Грина.

В работе [14] найдено точное решение уравнения (1) и полностью определены динамические параметры балки. В частности получены формулы для прогибов и изгибающих моментов

$$y(x, t) = y_1(x) \sin q t + y_2(x) \cos q t, \quad (3)$$

$$M(x, t) = M_1(x) (\sin q t + g \cos q t) + M_2(x) (\cos q t - g \sin q t), \quad (4)$$

где $y_k(x)$, $M_k(x)$ ($k = 1, 2$) – так называемые составляющие функции своих параметров. Эти функции, с учетом граничных условий (2) в точке $x = 0$, определяются формулами [14]:

$$y_k(x) = (-1)^{k+1} \left(j_1(0) l X_{2,k}(x) - \frac{Q_1(0) l^3}{EI} X_{4,k}(x) \right) + j_2(0) l X_{2,3-k}(x) - \frac{Q_2(0) l^3}{EI} X_{4,3-k}(x) + \\ + (-1)^{k+1} \frac{q l^4}{(1+g^2)EI} (X_{5,k}(x) + (-1)^k g X_{5,3-k}(x)); \quad (5)$$

$$M_k(x) = (-1)^k \left(\frac{j_1(0)EI}{l} X_{4,k}^*(x) - Q_1(0) l X_{2,k}(x) \right) - \frac{j_2(0)EI}{l} X_{4,3-k}^*(x) + Q_2(0) l X_{2,3-k}(x) + \\ + (-1)^k \frac{q l^2}{1+g^2} (X_{3,k}(x) + (-1)^k g X_{3,3-k}(x)), \quad (6)$$

где

$$X_{n,1}(x) = \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{x}{l} \right)^{n-1} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{L^{2k} \cos kd}{(4k+n-1)!} \left(\frac{x}{l} \right)^{4k+n-1}, \quad X_{n,2}(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{L^{2k} \sin kd}{(4k+n-1)!} \left(\frac{x}{l} \right)^{4k+n-1} \quad (n = 2, 3, 4, 5), \quad (7)$$

$$X_{4,1}^*(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{L^{2k+2} \cos(k+1)d}{(4k+3)!} \left(\frac{x}{l} \right)^{4k+3}, \quad X_{4,2}^*(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{L^{2k+2} \sin(k+1)d}{(4k+3)!} \left(\frac{x}{l} \right)^{4k+3}, \quad (8)$$

$$L = \frac{q}{\sqrt[4]{1+g^2}} l^2 \sqrt{\frac{m}{EI}}, \quad d = \arctg g \quad \left(0 \leq d < \frac{p}{2} \right). \quad (9)$$

При этом важно заметить, что параметры L , d и все функции (7), (8) являются безразмерными.

Составляющие функции (5), (6) представимы также в комплексной форме [14]:

$$y_1(x) + i y_2(x) = (j_1(0) + i j_2(0)) l X_2(x) - (Q_1(0) + i Q_2(0)) \frac{l^3}{EI} X_4(x) + \frac{q}{(1+ig)} \frac{l^4}{EI} X_5(x); \quad (10)$$

$$M_1(x) + i M_2(x) = -(j_1(0) + i j_2(0)) \frac{EI}{l} K^2 X_4(x) + (Q_1(0) + i Q_2(0)) l X_2(x) - \frac{q}{(1+ig)} l^2 X_3(x), \quad (11)$$

где $X_n(x) = X_{n,1}(x) - i X_{n,2}(x)$ ($n = 2, 3, 4, 5$), $K^2 X_4(x) = X_{4,1}^*(x) - i X_{4,2}^*(x)$.

Неизвестные начальные параметры $j_1(0)$, $j_2(0)$, $Q_1(0)$, $Q_2(0)$ определим из граничных условий (2) в точке $x = l$. Указанные граничные условия на основании формул (3), (4) равносильны равенствам $y_1(l) = 0$, $y_2(l) = 0$, $M_1(l) = 0$, $M_2(l) = 0$, а их реализация, с помощью формул (10), (11), приводит к системе уравнений:

$$X_2(l)(j_1(0) + i j_2(0)) - \frac{l^2}{EI} X_4(l)(Q_1(0) + i Q_2(0)) = -\frac{q l^3}{(1+ig)EI} X_5(l); \\ -\frac{EI}{l} K^2 X_4(l)(j_1(0) + i j_2(0)) + l X_2(l)(Q_1(0) + i Q_2(0)) = \frac{q l^2}{1+ig} X_3(l).$$

Отсюда находим комплексные начальные параметры:

$$j_1(0) + i j_2(0) = \frac{q l^3}{(1+ig)EI} \frac{X_3(l) X_4(l) - X_2(l) X_5(l)}{X_2^2(l) - K^2 X_4^2(l)}; \quad (12)$$

$$Q_1(0) + iQ_2(0) = \frac{ql}{1+ig} \frac{X_2(l)X_3(l) - K^2 X_4(l)X_5(l)}{X_2^2(l) - K^2 X_4^2(l)}. \quad (13)$$

Для определения искомых начальных параметров $j_1(0), j_2(0), Q_1(0), Q_2(0)$ выделим действительные и мнимые слагаемые в правых частях формул (12), (13). В результате получим

$$j_k(0) = \frac{ql^3}{EI(1+g^2)} H_k, \quad Q_k(0) = \frac{ql}{1+g^2} S_k \quad (k=1,2),$$

где H_k, S_k – безразмерные константы, вычисляемые по формулам:

$$H_1 = \frac{a_1 c_1 + a_2 c_2 + g(a_2 c_1 - a_1 c_2)}{c_1^2 + c_2^2}; \quad H_2 = \frac{a_2 c_1 - a_1 c_2 - g(a_1 c_1 + a_2 c_2)}{c_1^2 + c_2^2};$$

$$S_1 = \frac{b_1 c_1 + b_2 c_2 + g(b_2 c_1 - b_1 c_2)}{c_1^2 + c_2^2}; \quad S_2 = \frac{b_2 c_1 - b_1 c_2 - g(b_1 c_1 + b_2 c_2)}{c_1^2 + c_2^2};$$

$$a_1 = X_{4,1}(l)X_{3,1}(l) - X_{4,2}(l)X_{3,2}(l) - X_{2,1}(l)X_{5,1}(l) + X_{2,2}(l)X_{5,2}(l);$$

$$a_2 = X_{2,1}(l)X_{5,2}(l) + X_{2,2}(l)X_{5,1}(l) - X_{4,1}(l)X_{3,2}(l) - X_{4,2}(l)X_{3,1}(l);$$

$$b_1 = X_{2,1}(l)X_{3,1}(l) - X_{2,2}(l)X_{3,2}(l) - X_{4,1}^*(l)X_{5,1}(l) + X_{4,2}^*(l)X_{5,2}(l);$$

$$b_2 = X_{4,1}^*(l)X_{5,2}(l) + X_{4,2}^*(l)X_{5,1}(l) - X_{2,1}(l)X_{3,2}(l) - X_{2,2}(l)X_{3,1}(l);$$

$$c_1 = X_{2,1}^2(l) - X_{2,2}^2(l) - X_{4,1}^*(l)X_{4,1}(l) + X_{4,2}^*(l)X_{4,2}(l); \quad c_2 = X_{4,1}^*(l)X_{4,2}(l) + X_{4,2}^*(l)X_{4,1}(l) - 2X_{2,1}(l)X_{2,2}(l).$$

Подставляя найденные значения начальных параметров в формулу (6), будем иметь:

$$M_k(x) = \frac{ql^2}{1+g^2} M_k^*(x) \quad (k=1,2), \quad (14)$$

где $M_k^*(x)$ – безразмерные функции, которые имеют вид

$$M_k^*(x) = (-1)^k (H_1 X_{4,k}^*(x) - S_1 X_{2,k}(x)) - H_2 X_{4,3-k}(x) + S_2 X_{2,3-k}(x) + (-1)^k (X_{3,k}(x) + (-1)^k g X_{3,3-k}(x)).$$

Для исследования колебаний более удобной будет формула, в которых явно выделена амплитудная функция. Преобразуя равенство (4) к нужному виду, с учетом представлений (14), окончательно получим:

$$M(x, t) = \text{Am } M(x, t) \sin(qt + c_M(x)),$$

$$\text{Am } M(x, t) = \frac{ql^2}{1+g^2} M(x), \quad M(x) = \sqrt{(M_1^*(x) - g M_2^*(x))^2 + (M_2^*(x) + g M_1^*(x))^2}, \quad c_M(x) = \arctg \frac{M_2^*(x) + g M_1^*(x)}{M_1^*(x) - g M_2^*(x)}.$$

Как видно, формула для амплитуды содержит безразмерный множитель $M(x)$, не зависящий от нагрузки. Этот множитель с точностью до размерного коэффициента $\frac{ql^2}{1+g^2}$ определяет главную форму для динамического изгибающего момента. Функцию $M(x)$ также можно трактовать, как безразмерную амплитуду.

Максимальное значение амплитуды, очевидно, будут достигаться в середине балки, то есть

$$\max \text{Am } M(x, t) = \frac{ql^2}{1+g^2} M\left(\frac{l}{2}\right). \quad (15)$$

Таким образом, для определения максимальной амплитуды, необходимо вычислить соответствующее значение безразмерной амплитуды в середине балки. При этом особый интерес будут представлять вычисления в резонансных зонах, когда частота вынужденных колебаний q будет находиться в окрестности частот свободных колебаний балки.

Как известно [11], для частот свободных колебаний балки без учета сопротивлений имеет место формула

$$w_j = \frac{K_j}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (j=1,2,3,...), \quad (16)$$

где K_j – безразмерные коэффициенты свободных колебаний. Для случая шарнирно опертой балки $K_j = (jp)^2$.

В качестве частот вынужденных колебаний q зададим следующие значения:

- на промежутке $0 < q \leq w_1$ полагаем $q = k \frac{w_1}{10}$ ($k=1,2,3,...,10$);
- на промежутке $w_1 < q \leq w_2$ полагаем $q = w_1 + k \frac{w_2 - w_1}{10}$ ($k=1,2,...,10$);
- на промежутке $w_2 < q \leq w_3$ полагаем $q = w_2 + k \frac{w_3 - w_2}{10}$ ($k=1,2,3,...,10$);

- на промежутке $w_3 < q < w_4$ полагаем $q = w_3 + k \frac{w_4 - w_3}{10}$ ($k = 1, 2, 3$).

Подставляя здесь вместо частот w_1, w_2, w_3, w_4 их значения (16), получим представление

$$q = \frac{K^*}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}, \quad (17)$$

где K^* – безразмерный коэффициент вынужденных колебаний, для которого будем иметь

$$K^* = \begin{cases} 0,1kp^2, & \text{когда } q = k \frac{w_1}{10} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, 10); \\ (1 + 0,3k)p^2, & \text{когда } q = w_1 + k \frac{w_2 - w_1}{10} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, 10); \\ (4 + 0,5k)p^2, & \text{когда } q = w_2 + k \frac{w_3 - w_2}{10} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, 10); \\ (9 + 0,7k)p^2, & \text{когда } q = w_3 + k \frac{w_4 - w_3}{10} \quad (k = 1, 2, 3). \end{cases}$$

При этом для параметра L , определенного первой из формул (9), с учетом (17), получаем $L = \frac{K^*}{\sqrt[4]{1+g^2}}$.

В табл. 1 представлены результаты вычислений безразмерных амплитуд в середине балки, соответствующие различным значениям коэффициента вынужденных колебаний K^* . Особенно отметим, что данные значения инвариантны относительно размерных величин l, EI, m, q и зависят только от способа закрепления концов балки. По сути, они характеризуют саму природу явления.

На рис. 1 изображен график зависимости безразмерной амплитуды изгибающего момента от коэффициента вынужденных колебаний балки. Как видно, максимумы амплитуды достигаются, когда значения коэффициента колебаний равны p^2 и $9p^2$, что в свою очередь соответствует частотам свободных колебаний w_1 и w_3 .

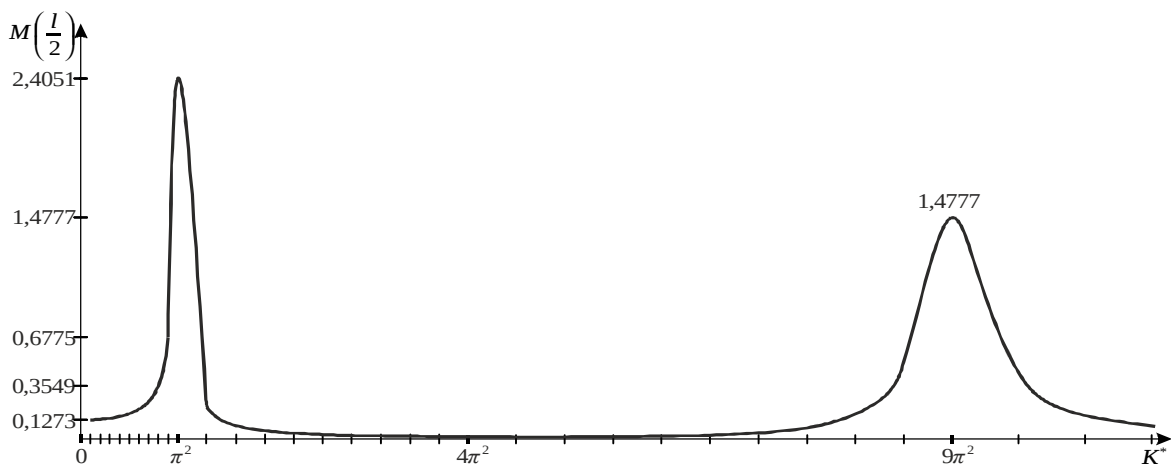


Рис. 3. Зависимость безразмерной амплитуды от коэффициента колебаний

Таким образом, согласно формулам (17), (15), вычисление максимальных значений амплитуд динамических изгибающих моментов при вынужденных поперечных колебаниях балки, вызванных внешней динамической нагрузкой $q(x, t) = q \sin q t$, сводится лишь к умножению значений K^* , $M\left(\frac{l}{2}\right)$ из табл. 1 на

соответствующие размерные множители $\frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}, \frac{ql^2}{1+g^2}$.

Пример. Найдем распределение амплитуд динамических изгибающих моментов в однопролётной железобетонной балке при заданных выше значениях частот вынужденных колебаний. Схема армирования балки приведена на рис. 4. На рис. 5 приведено поперечное сечение балки.

Балка выполнена из бетона класса В20, армирована симметричными каркасами с рабочей арматурой $\text{Æ} 28$ мм из стали класса А400С. Коэффициент неупругого сопротивления для данного материала равен $g = 0,089$. Сила инерции, возникающая при работе оборудования, принимается равной $q = 20 \text{ кН/м}$, погонная масса балки $m = 2,5 \text{ кНс}^2/\text{м}^2$, изгибная жесткость $EI = 79615,11 \text{ кНм}^2$.

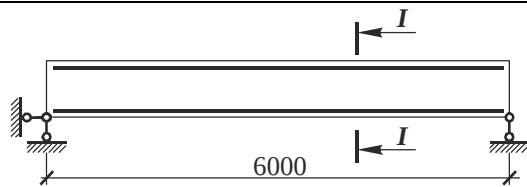


Рис. 4. Схема армирования балки

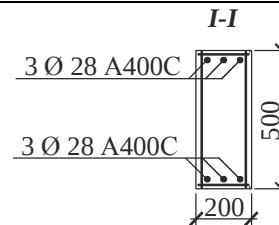


Рис. 5. Поперечное сечение балки

При таких расчетных данных, первые четыре частоты свободных колебаний балки без учета сопротивлений, согласно формуле (16), будут равны:

$$w_1 = 48,9243 \text{ c}^{-1}; \quad w_2 = 195,6974 \text{ c}^{-1}; \quad w_3 = 440,3191 \text{ c}^{-1}; \quad w_4 = 782,7895 \text{ c}^{-1}.$$

Для вычисления искомых амплитуд динамических изгибающих моментов, соответствующих заданным частотам q по предлагаемому методу, умножим значения, фигурирующие в первом и втором столбцах табл. 1 на размерные коэффициенты $\frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} = 4,9571 \text{ c}^{-1}$, $\frac{ql^2}{1+g^2} = 714,3417 \text{ кНм}$. Полученные

результаты содержатся во втором и третьем столбцах табл. 1. Здесь же для сравнения приведены результаты расчетов для заданной балки методом конечных элементов с помощью программных комплексов SCAD [15] и ANSYS [16].

Таблица 1

Максимальные значения безразмерной амплитуды		Амплитудные значения динамических изгибающих моментов для железобетонной балки			
K^*	$M\left(\frac{l}{2}\right)$	Частоты вынужденных колебаний $q, \text{ c}^{-1}$	Авторский метод	ПК SCAD	ПК ANSYS
1	2	3	4	5	6
$0,1p^2$	0,1273	4,8924	90,9253	90,9522	90,9393
$0,2p^2$	0,1314	9,7849	93,8317	93,9293	93,8732
$0,3p^2$	0,1387	14,6773	99,0997	99,3327	99,1469
$0,4p^2$	0,1505	19,5697	107,5237	107,9913	107,9006
$0,5p^2$	0,1689	24,4622	120,6560	121,5289	120,9934
$0,6p^2$	0,1984	29,3546	141,7073	143,3023	142,1433
$0,7p^2$	0,2496	34,2470	178,2878	181,2372	180,0014
$0,8p^2$	0,3549	39,1395	253,5188	258,8177	256,4465
$0,9p^2$	0,6775	44,0319	483,9551	480,7953	480,9984
p^2	2,4051	$w_1 = 48,9243$	1718,0604	1010,4179	1210,1123
$1,3p^2$	0,1990	63,6016	142,1391	129,6805	134,4555
$1,6p^2$	0,0892	78,2789	63,7346	60,3975	60,9702
$1,9p^2$	0,0549	92,9562	39,2225	37,5742	38,3356
$2,2p^2$	0,0387	107,6336	27,6720	26,6322	26,7447
$2,5p^2$	0,0296	122,3109	21,1552	20,4000	20,8733
$2,8p^2$	0,0239	136,9882	17,0872	16,4796	16,8341
$3,1p^2$	0,0201	151,6655	14,3863	13,8524	14,0050
$3,4p^2$	0,0175	166,3428	12,5275	12,0169	12,0405
$3,7p^2$	0,0157	181,0201	11,2321	10,7005	10,9666
$4p^2$	0,0145	$w_2 = 195,6974$	10,3462	9,7447	9,8888
$4,5p^2$	0,0134	220,1595	9,5737	8,7060	9,0403
$5p^2$	0,0135	244,6217	9,6099	8,1607	8,7641
$5,5p^2$	0,0149	269,0839	10,6242	7,9992	8,7445
$6p^2$	0,0184	293,5461	13,1375	8,2008	11,2345
$6,5p^2$	0,0257	318,0082	18,3243	8,8305	13,1477
$7p^2$	0,0406	342,4704	28,9882	10,0893	19,2345

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
$7,5p^2$	0,0743	366,9326	53,0482	12,4926	28,4332
$8p^2$	0,1664	391,3947	118,8766	17,5011	45,3221
$8,5p^2$	0,5122	415,8569	365,9139	29,3634	91,3576
$9p^2$	1,4777	$w_3 = 440,3191$	1055,5845	34,2026	111,3787
$9,7p^2$	0,4294	474,5661	306,7364	14,5283	76,3744
$10,4p^2$	0,1530	508,8132	109,3148	8,1972	41,3222
$11,1p^2$	0,0841	543,0602	60,0516	5,5962	26,8564

Выводы. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что резкое возрастание амплитудных значений динамических изгибающих моментов происходит в резонансных областях, соответствующих собственным частотам с нечетными индексами, а эти частоты соответствуют симметричным формам колебаний. При несимметричных колебаниях данный эффект отсутствует. Значения, полученные авторским методом, следует считать точными, поскольку они получены путем точного решения исходного дифференциального уравнения методом прямого интегрирования. Этим значениям в большей степени соответствуют результаты расчета методом конечных элементов в пакете ANSYS, чем в SCAD, что объясняется более совершенной конечно-элементной дискретизацией исходной модели и типом конечного элемента, используемого в ANSYS.

Література

1. Лурье И. А. Крутильные колебания в дизельных установках / И. А. Лурье. – М.-Л. : Воениздат, 1940. – 220 с.
2. Панов Д. Ю. О крутильных колебаниях стержня при наличии упругого гистерезиса / Д. Ю. Панов // ПММ. – Вып. 1. – Т. IV. – 1940. – С. 65–78.
3. Крылов А. Н. Собрание трудов. Т. X: Вибрация судов / А. Н. Крылов. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – 402 с.
4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко. – М. : Наука, 1967. – 444 с.
5. Пановко Я.Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем / Я.Г. Пановко. – М. : Физматгиз, 1960. – 193 с.
6. Сорокин Е. С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем / Е. С. Сорокин. – М. : Изд-во литер. по строительству, архитектуре и строит. механике, 1960. – 131 с.
7. Ольшанский В.П. Нестационарные колебания осциллятора переменной массы с учетом вязкого трения / В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский // Вібрації в техніці та технологіях. – 2014. – Вып. № 3 (75). – С. 18–27.
8. Ольшанский В.П. Нестационарные колебания механической системы линейно-переменной массы с комбинированным трением / В. П. Ольшанский, С. В. Ольшанский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 4 (1041). – С. 324–333.
9. Тарануха Н. А. Исследование колебаний судовых стержневых конструкций с учетом сопротивления внешней среды различной плотности / Н. А. Тарануха, О. В. Журбин, И. Н. Журбина // Комсомольск-на-Амуре: «Ученые записки КнАГТУ». – Вып. 3. – 2015. – С. 82–94.
10. Берендеев Н.Н. Исследование влияния внутреннего трения и способа возбуждения на вынужденные колебания системы / Н.Н. Берендеев // Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2012. – 50 с.
11. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М. : Дрофа, 2004. – 591 с.
12. Василенко М.В. Теорія коливань і стійкості руху : підручник / Василенко М.В., Алексейчук О.М. – К. : Вища шк., 2004. – 525 с.
13. Abu-Hilal M. Forced vibration of Euler-Bernoulli beams by means of dynamic Green functions. Journal of Sound and Vibration 267 (2003). – pp. 191–207.
14. Krutiy Yu. S. Forced harmonic oscillations of the Euler-Bernoulli beam with resistance forces: Odeskyi Politechnichniy Universytet. Pratsi. Machine building, process metallurgy, materials science / Yu. S. Krutiy // Pratsi OPU. – 2015. – № 3(47). – Р. 9–16.
15. 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.
16. 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 : 9.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 24.2.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

А.Л. НИКИФОРОВ, И. А. МЕНЕЙЛЮК
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
М.Н. ЕРШОВ
Московский государственный строительный университет

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

В статье рассмотрена оптимизация организационных решений реконструкции инженерных сооружений на примере Останкинской телебашни. Выбраны показатели, наиболее полно характеризующие проект реконструкции, а также факторы, наиболее существенно влияющие на них. Разработан алгоритм, позволяющий оптимизировать организационные решения по показателям финансовой и технической эффективности путём экспериментально-статистического моделирования вариантов проведения строительно-монтажных работ. Получены закономерности изменения показателей продолжительности и стоимости реконструкции под влиянием организационных факторов.

Ключевые слова: экспериментально-статистическое моделирование, реконструкция, высотные инженерные сооружения, численные методы оптимизации.

A. NIKIFOROV, I. MENEYLYUK
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture
M. ERSHOV
Moscow State Building University

REGULARITIES OF INDICATORS OF ENGINEERING STRUCTURES RECONSTRUCTION FROM ORGANIZATIONAL FACTORS

Abstract – Article represents optimization of organizational solutions of engineering structures reconstruction by the example of Oostankino TV tower. The indicators, which fully represent the project of reconstruction and most influential factors are chosen. The algorithm of organizational solutions optimization by experimental statistical modelling is worked out. The regularities of duration and cost of reconstruction works influenced by organizational factors are achieved.

Keywords: experimental statistical modelling, reconstruction, high-rise structures, numerical methods of optimization.

Введение. В Украине и за её пределами имеется большое количество высотных инженерных сооружений. Большая часть из них эксплуатируется десятки лет и более. Многие высотные инженерные сооружения требуют проведения ремонтно-восстановительных работ, а некоторые – противоаварийных. Реализация таких проектов требует значительных затрат. Как правило, существует множество вариантов выполнения работ по реконструкции. Они могут иметь различную стоимость, сроки выполнения. Специфика некоторых объектов требует определённого графика работ (только в ночную смену, использование ограниченного количества людей или календарного времени). В нормативных документах и изученных информационных источниках отсутствуют указания по выбору эффективных организационно-технологических решений при реконструкции таких сооружений. Поэтому такие работы требуют моделирования и последующей оптимизации по наиболее важным критериям.

Использование традиционных методов моделирования строительных процессов не даёт возможности оценить эффективность вариантов организационно-технологических решений. Моделирование таких вариантов и анализ экспериментально-статистических моделей позволит определить лучшее решение по выбранным критериям эффективности.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является определение закономерности изменения показателей продолжительности и стоимости от организационных факторов реконструкции высотных инженерных сооружений на примере Останкинской телебашни. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать алгоритм численной оптимизации организационных решений.
2. Провести численный эксперимент и построить аналитические и графические зависимости исследуемых показателей от организационных факторов.

Для решения задачи оптимизации проекта реконструкции телебашни Останкино был проведён численный эксперимент по моделированию вариантов организационных решений этих работ. При проведении численного исследования использовались теории оптимального планирования эксперимента, экспериментально-статистического моделирования, современное программное обеспечение для построения календарно-сетевых моделей строительного производства [1, 2, 3].

Решение задач оптимизации состоит из этапов, показанных на рис. 1.

Проведение численного исследования по разработанному алгоритму позволит обоснованно выбрать оптимальные организационные решения по проведению комплекса восстановительных работ в сложных организационных условиях при ограниченном финансировании [4]. При проведении исследования была использована сметная документация, отражающая актуальные затраты на проведение строительно-монтажных работ. Построение графиков строительства позволило корректно отобразить последовательность и принятые технологические решения при проведении высотных монтажных работ.

Таким образом, настоящее исследование даёт количественную оценку альтернатив реализации проекта при изменяющихся вариантах организации комплекса восстановительных работ, условий финансирования и имеющихся ограничений.

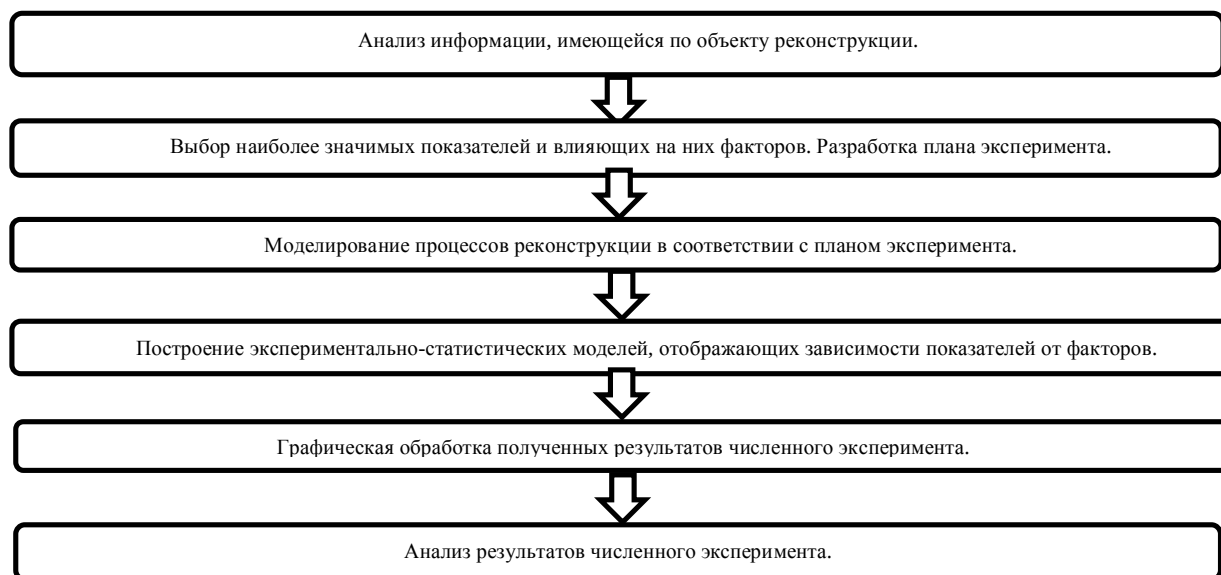


Рис. 1. Блок-схема методики исследования

Объектом оптимизации является проект реконструкции Останкинская телебашни, которая находится в Москве. Башня является одним из наиболее высоких сооружений данного типа в мире, обладает серией нестандартных конструктивных решений, а также особенностями производства, которые значительно усложняют процесс реконструкции. В результате анализа особенностей рассматриваемого объекта, были выявлены основные показатели проекта реконструкции, а также факторы, непосредственно влияющих на эти показатели.

На наш взгляд наиболее значимыми являются следующие показатели:

- Y_1 – продолжительность выполнения строительно-монтажных работ;
- Y_2 – стоимость производства строительно-монтажных работ;
- На выбранные показатели наибольшее влияние оказывают следующие факторы:
- X_1 – количество рабочих смен в сутки.
- X_2 – количество рабочих дней в неделю.
- X_3 – коэффициент совмещения работ.
- X_4 – величина условно-постоянных расходов.

По результатам построения моделей проекта реконструкции (календарных графиков производства работ) были исследованы показатели инвестиционно-строительного проекта, изменяющиеся под влиянием организационных факторов. Результаты проведённого исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Матрица результатов исследования

№	X_1 Кол-во смен в сутки	X_2 Кол-во рабочих дней в неделю	X_3 Коэффициент совмещения работ	X_4 Величина условно-постоянных расходов тыс. руб./мес.	Продолжительность выполнения СМР, дни	Стоимость производства СМР, тыс. руб	№	X_1 Кол-во смен в сутки	X_2 Кол-во рабочих дней в неделю	X_3 Коэффициент совмещения работ	X_4 Величина условно-постоянных расходов тыс. руб./мес.	Продолжительность выполнения СМР, дни	Стоимость производства СМР, тыс. руб
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	3	7	63	700	382	536 955	13	1	3	63	700	1282	557 955
2	3	7	63	300	382	531 862	14	1	3	63	300	1282	540 862
3	3	7	0	700	939	549 952	15	1	3	0	700	3494	609 568
4	3	7	0	300	939	537 432	16	1	3	0	300	3494	562 982
5	3	3	63	700	638	542 928	17	3	5	32	500	655	538 958
6	3	3	63	300	638	534 422	18	1	5	32	500	1414	551 608
7	3	3	0	700	1633	566 145	19	2	7	32	500	693	539 592

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
8	3	3	0	300	1633	544 372	20	2	3	32	500	1239	548 692
9	1	7	63	700	766	545 915	21	2	5	63	500	409	534 858
10	1	7	63	300	766	535 702	22	2	5	32	700	743	545 378
11	1	7	0	700	1970	574 008	23	2	5	0	500	1102	546 408
12	1	7	0	300	1970	547 742	24	2	5	32	300	743	535 472
							25	2	5	32	500	743	540 425

Закономерность изменения продолжительности выполнения СМР при реконструкции Останкинской телебашни в зависимости от количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещенности работ и величины условно-постоянных расходов адекватно описывается математической моделью, приведенной ниже:

$$Y_1 = 711 - 477,7 X_1 + 328,8 X_1^2 + 136,3 X_1 X_2 + 233 X_1 X_3 - 362,6 X_2 + 260,3 X_2^2 + 180,9 X_2 X_3 - 590,5 X_3 + 49,8 X_3^2 + 37,3 X_4^2 \quad (1)$$

Расчет этой и последующих аналитических зависимостей выполнен с использованием программы Comrex, разработанной в ОГАСА под руководством профессора Вознесенского В.А. [5].

Показанная в формуле 1 аналитическая зависимость может быть изображена графически. На рисунке 2 функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{\max} = 3368$ дней при $X_1 = -1$ (1 рабочая смена в сутки), $X_2 = -1$ (3 рабочих дня в неделю), $X_3 = -1$ (коэффициент совмещенности работ равен 0%) и $X_4 = +1$ (величина условно-постоянных расходов равна 700 тыс. руб./мес.);

- $Y_{\min} = 107$ дней при $X_1 = +1$ (3 рабочих смены в сутки), $X_2 = +1$ (7 рабочих дней в неделю), $X_3 = +1$ (коэффициент совмещенности работ равен 63%) и при значениях $X_4 = -1$ (величины условно-постоянных расходов, равной 500 тыс. руб./мес.).

Закономерность изменения стоимости производства СМР по реконструкции Останкинской телебашни в зависимости от количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещенности работ и величины условно-постоянных расходов адекватно описывается зависимостью, приведенной ниже:

$$Y_2 = 543451,34 - 9628,71 X_1 + 1328,02 X_1^2 + 395,83 X_1 X_2 + 2008,34 X_1 X_3 - 1391,67 X_1 X_4 - 4375,93 X_2 + 186,32 X_2^2 + 4887,5 X_2 X_3 - 4366,67 X_2 X_4 - 8175,01 X_3 - 3321,98 X_3^2 - 6015,01 X_3 X_4 + 5442,22 X_4 + 11469,67 X_4^2 \quad (2)$$

Для прогнозирования изменений исследуемых показателей при варьировании количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещенности работ и величины условно-постоянных расходов были построены диаграммы типа «квадрат в квадрате» (рис.3). Они изображаются с помощью изолиний, т.е. линий, на которых находятся равные значения функции отклика.

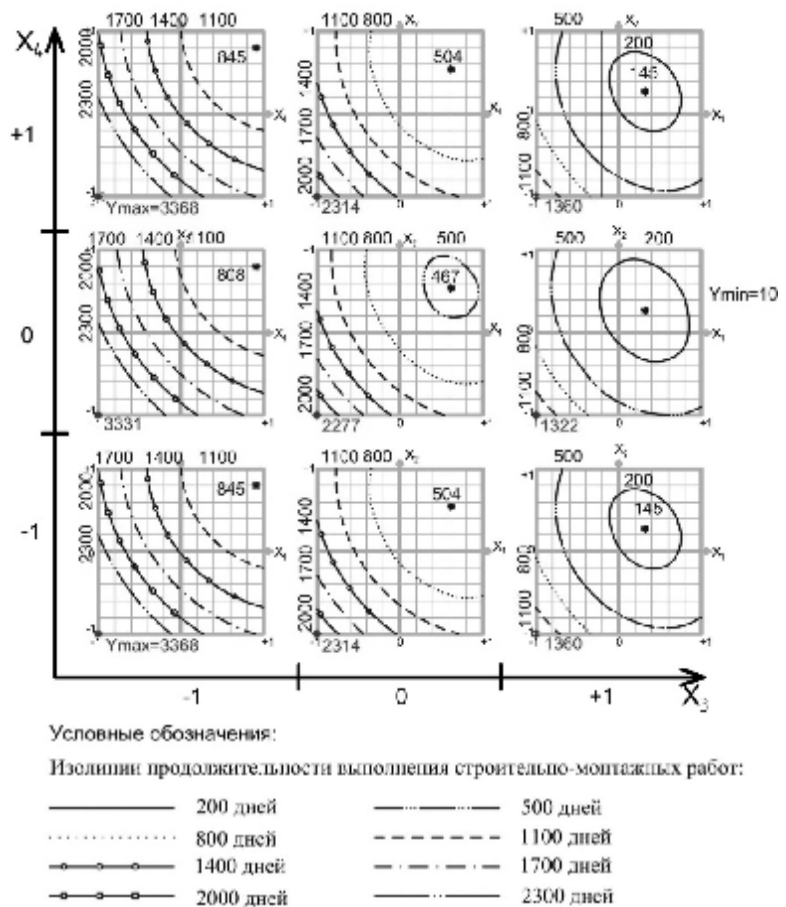


Рис. 2 Диаграмма изменения показателя «продолжительность выполнения СМР» типа «квадрат в квадрате» (дни)

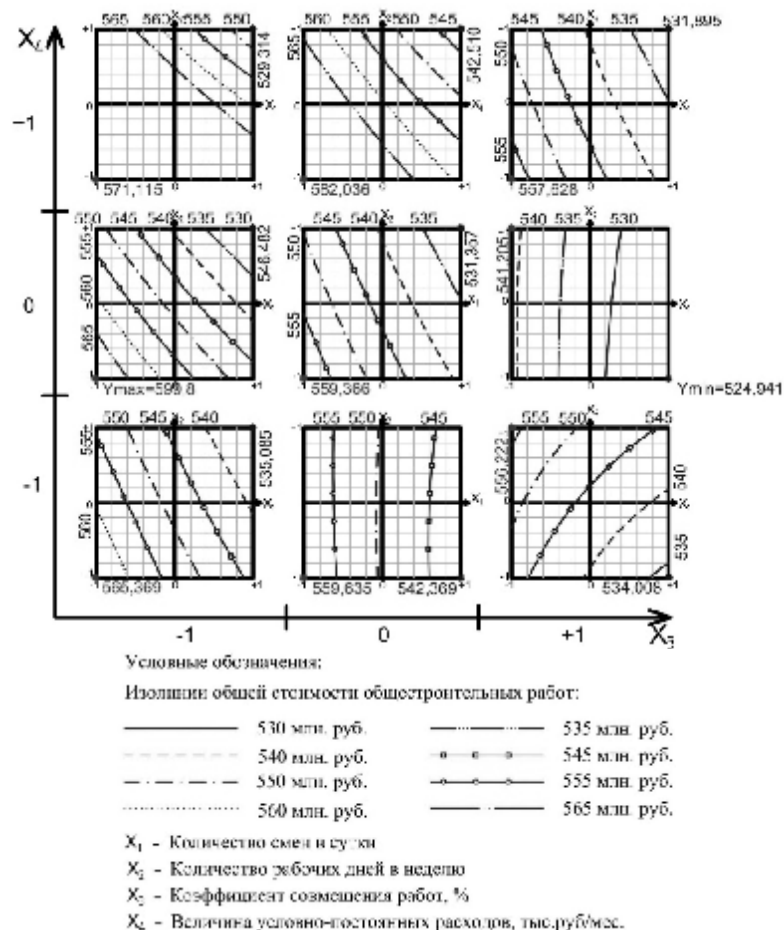


Рис.3 Диаграмма изменения показателя «стоимость производства СМР» типа «квадрат в квадрате» (млн.руб.)

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{\max} = 599,8$ млн. руб. при $X_1 = +1$ (3 рабочих смены в сутки), $X_2 = -1$ (3 рабочих дня в неделю) $X_3 = 0$ (коэффициент совмещенности работ равен 32%) и при значениях $X_4 = -1$ (величина условно-постоянных расходов равна 300 тыс. руб./мес.);
- $Y_{\min} = 524,94$ млн. руб. при $X_1 = -1$ (1 рабочая смена в сутки), $X_2 = +1$ (7 рабочих дней в неделю) $X_3 = 0$ (коэффициент совмещенности работ равен 32%) и при значениях $X_4 = +1$ (величина условно-постоянных расходов равна 700 тыс. руб./мес.).

Выводы:

1. Результаты моделирования на примере реального объекта реконструкции показали, что при изменении исследуемых факторов основные критерии эффективности могут изменяться в очень широких пределах, а именно:

- продолжительность выполнения работ – от 107 до 3368 рабочих дней;
- стоимость производства работ – от 599,8 млн. руб. до 524,941 млн. руб.

2. Полученные закономерности позволяют на этапе моделирования определить значение каждого из показателей при любом сочетании факторов в исследуемых пределах.

Литература

1. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский // М.: Финансы и статистика, 1981. - 263с. 7.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский// М. : Наука. – 1-е изд., 1971. – 283 с. – 2-е изд., 1976. – 279 с.
3. Налимов В.В. Теория эксперимента. / В.В. Налимов // М. : Наука, 1971. – 208 с.
4. Краковский Г.И. Планирование экспериментов / Г.И. Краковский, Г.Ф. Филаретов // Минск: БТУ, 1982. – 757 с.
5. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков // К. :Вища школа, 1989.–328. с.

Рецензія/Peer review : 23.1.2016 р.

Надрукована/Printed :25.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Бабиченко В. Я.

УДК 685.34.013

О.В. СКІДАН

Київський національний університет технологій та дизайну

Т.А. НАДОПТА, О.А. МИХАЙЛОВСЬКА

Хмельницький національний університет

В.П. КОНОВАЛ

Київський національний університет технологій та дизайну

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИНЦИПІВ МОДУЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

У роботі запропоновано основні принципи модульної трансформації взуття для дітей-школярів. Подібний підхід дозволить отримувати різні за складністю елементи конструкції виробу, які пов'язані між собою. Показана можливість та доцільність застосування означених показників при проектуванні взуття для школярів.

Розроблено схему етапів проектування, що дає можливість мінімізувати неточності і вносити коректування в конструкцію на початковому етапі, дозволяє будувати різні конструкції виробів, отримувати розгортку їх поверхні, проводити деталювання, отримувати контури деталей з використанням аналітичних основ. Спроектовано туфлі-напівчеревики зі швом посередині союзки за методикою італійської школи моделювання і проведено практичну апробацію. Застосування модульної трансформації та аналітичних основ при проектуванні взуття для дітей-школярів дозволить отримувати різноманітні за ступенем закритості перетворення конструкції, тим самим створюючи можливість максимальної експлуатації виробу та економії матеріальних і трудових ресурсів.

Ключові слова: модульна трансформація, аналітична модель, деталі верху, проектування взуття.

O.V. SKIDAN

Kyiv National University of Technologies and Design

T.A. NADOPTA, O. A. MYKHAILOVSKA

Khmelnytskyi National University

V.P. KONOVAL

Kyiv National University of Technologies and Design

FEATURES OF DESIGNING ITEMS UPPER PART OF SHOES WITH USING PRINCIPLES OF MODULAR TRANSFORMATION

Abstract – In this work we can see basic principles of modular transformation shoes for school children. Such way allows to get different complexity items construction of product, that are interconnected. We can see possibility and expediency use of definite index at designing shoes for school children.

Scheme of stage designing has developed, that allows to minimize inaccuracies and add updating to construction at initial phase, lets to build different constructions of products, to get scanning of their surfaces, to conduct detailing, to get contours of items with use of analytical bases. Oxford-shoes has designed with seam in the middle of vamp by method of Italian school modelling and practice approbation has conducted. Use of modular transformation and analytical bases at designing shoes for school children will allows to get different in grade closing transformation of construction, so it's creating possibility maximal operation of product and saving material and working resources.

Keywords: modular transformation, analytical model, items of upper part, designing of shoes.

Вступ

В сучасних умовах розвитку вітчизняних підприємств легкої промисловості значна увага приділяється забезпеченню конкурентоспроможності виробів. Для цього необхідно підвищувати якість виробів з використанням найбільш ефективних підходів. Одночасно з розвитком технологій у взуттєвому виробництві спостерігаються значні зміни в конструкції виробів (форма, призначення). Ці зміни сприяють пошуку нових виразних форм взуття, а також задоволенню естетичних показників якості [1]. Проектуючи взуттєві вироби, які виступають засобом задоволення життєвих потреб людини, конструктор впливає на формування цих потреб і тим самим безпосередньо включається в процес виховання. Зокрема, це дуже важливо для художнього виховання дітей-школярів. Оскільки, це важливий і цілеспрямований процес, котрий забезпечує формування творчих здібностей, смаків, естетичних потреб та інтересів [2]. Також при проектуванні взуття для дітей-школярів необхідно враховувати такі показники якості, як раціональність та ергономічність, адже конструкція дитячого взуття насамперед повинна відповідати анатомо-морфологічним особливостям стоп та бути зручною.

Для забезпечення індивідуальних побажань споживачів потрібно запропонувати їм широкий асортимент взуття. Асортиментна політика повинна бути спрямована на створення виробів з такими властивостями, які задовольняли означені вище вимоги. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки конструкцій взуття, які будуть раціональними, естетично привабливими, конкурентоздатними. Реальною базою для цього можуть стати дослідження споживчих переваг для виявлення актуальних художньо-конструктивних ознак виробів зі шкіри при підготовці нового асортименту продукції та впровадження

інноваційних методів проектування і технологій виготовлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми та задачі розвитку конструктивних форм і специфіки художнього проектування взуттєвих виробів розглядали вітчизняні та іноземні вчені: Зибін Ю.П., Пармон Ф.М., Фукін В.А., Козлова Т.В., Славінська А.Л., Петушкова Г.І., Бердникова І.П., Кернеш В.П., Скідан В.В., Семенова В.В., Баландюк Н.М. У [3–6] розглянуто та визначено основні напрямки розвитку виробництва взуття на структурно-морфологічному, композиційному, конструктивному рівнях. Однак, не враховано особливості естетичного формоутворення, визначення пріоритетного композиційно-конструктивного рішення взуття для дітей-школярів, що є важливим елементом соціально-культурного простору, який активно впливає на становлення особистості. Існує необхідність пошуку нових підходів до формоутворення виробів, створення більш ефективної системи проектування взуття.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні та розробці конструкції взуття для дітей-школярів з урахуванням пріоритетних композиційно-конструктивних особливостей моделей.

Викладення основного матеріалу

В умовах ринкової конкуренції забезпечення високої якості взуття для дітей-школярів набуває особливої значущості. Розвиток нових видів конструкцій, матеріалів, розробка інноваційних технологій вимагають перегляду традиційних методів та способів проектування і промислового виробництва виробів. З використанням комп'ютерного проектування з'явилася можливість знизити трудомісткість процесу ручного моделювання. Комплексне використання сучасних технологій допомагає прискорити процес конструювання і проектування виробів, а також дозволяє підвищити їх якість на основі широких можливостей тривимірної графіки.

Як показує практика при проектуванні взуття для дітей-школярів одним із пріоритетних є питання естетики. Це особливо актуально в теперішній час, коли споживач орієнтований на асортимент продукції, що дозволяє замінювати не весь виріб, а тільки певні його елементи.

Використовуючи принципи перетворення форми виробів, можна прийти до одержання нової конструкції, в якій автономні частини вже є завершеними одиницями і можуть бути використані самостійно. Крім того, форма може постійно змінюватися, компонуватися по-новому в залежності від економічних можливостей, соціальних та естетичних вимог.

В загальному основні перетворень: складання значної кількості варіантів із заданих елементів, що досягається їх чергуванням, попарним з'єднанням, перестановкою, віддзеркаленням, – розглядає комбінаторика.

Досить часто у фаховій літературі [7, 8] наведено різні класифікації та типи комбінаторних методів. Застосування методів перетворень відбувається за різними методиками, однак мета однакова – проектування багатофункціонального виробу, який задовольняє сучасного споживача.

З огляду на вище зазначене, при розробці конструкції взуття для дітей-школярів запропоновано використовувати термін «модульна трансформація». Це метод перетворення однієї форми конструкції в іншу або зміна деталей всередині цієї форми з використанням відокремлених модулів.

Перевагами використання принципів модульної трансформації при проектуванні взуття для дітей-школярів є:

- простота закріплення на стопі;
- легкість перетворення конструкції за ступенем закритості;
- простота одягання і зняття взуття зі стопи;
- можливість максимальної експлуатації.

Послідовність проектування взуття для дітей-школярів з використанням модульної трансформації з урахуванням всіх аспектів наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Схема етапів проектування

Ескіз розробленої із застосуванням принципів модульних перетворень конструкції туфель-напівчереви́ків для дітей-школярів (дівоча група) наведено на рисунку 2.

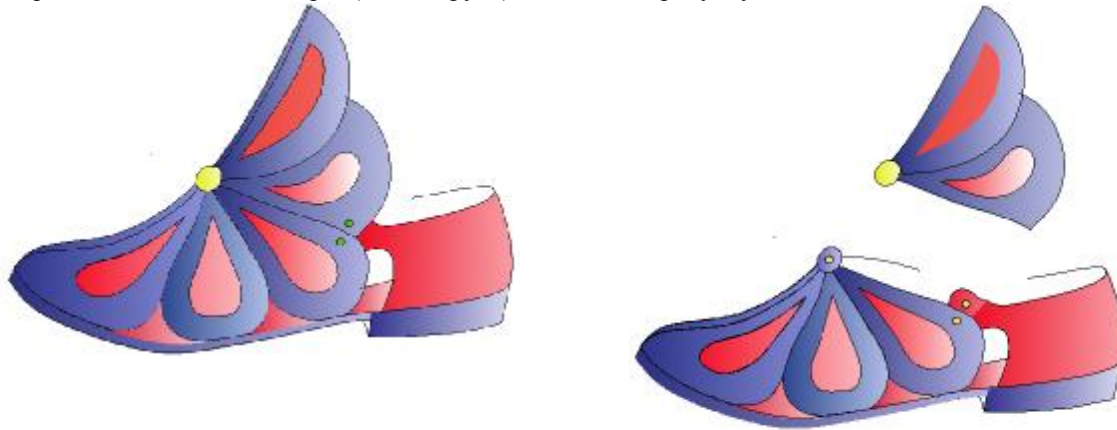


Рис. 2. Модульна трансформація туфель-напівчереви́ків

Представлену модель туфель-напівчереви́ків конструктивно можна поділити на декілька вузлів-модулів:

- нижня частина, що поєднує носково-пучкову ділянку союзки і задинки;
- верхня частина, що включає деталі язичкової ділянки союзки.

Представлена конструкція завдяки язичковій частині союзки, що легко відокремлюється від нижньої частини взуття, чи приєднується до неї кнопковими застібками, перетворюється із напівчереви́ків в туфлі і, навпаки. Язичкова частина союзки може не відокремлюватись, а лише повертатись на нижню частину союзки, створюючи нову конструктивну модифікацію туфель.

Враховуючи переваги та недоліки існуючих в даний час методик, проектування туфель-напівчереви́ків зі швом посередині союзки здійснювалось за методикою італійської школи моделювання АРС СУТОРІА, що включає такі етапи:

- виконання ескізу моделі на зовнішній боковій поверхні колодки;
- перенесення малюнка моделі з поверхні колодки на УРК та її коригування;
- проектування ґрунд-моделі;
- деталювання; складання макету заготовки, її апробація;
- проектування деталей підкладки.

Виконання ескізу моделі на зовнішній боковій поверхні колодки. Для проектування моделі вибрано колодку відповідно стандарту. Особливостями цього етапу є обов'язкове нанесення ліній поділу бокової поверхні колодки на зовнішню і внутрішню сторони; нанесення лінії пучків; відкладення висоти туфель-напівчереви́ків згідно ДСТУ; точне визначення лінії верхнього канту; оформлення вирізу союзки туфель, орієнтуючись на т. С і ескіз. Відстань, яка з'єднує точку С вирізу союзки та найбільш віддалену точку носкової частини не повинна бути менша, ніж 66 мм (для колодки вибраного метричного розміру 235 мм). При нанесенні контурів деталей слідкують, щоб вони повністю відповідали затвердженому ескізу моделі.

Перенесення рисунка моделі з поверхні колодки на УРК та її коригування. Для кращого натягу верхнього канту моделі та кращого прилягання язичкової частини союзки до колодки в гребеневій частині, посередині геленкової частини перпендикулярно до лінії канту та в язичковій частині союзки роблять розрізи, залишивши посередині перемичку 2-3 мм. Союзку розводять внизу геленкової частини по контуру УРК та вверху язичкової частини союзки по контуру УРК на 1,5-2,0 мм. В такому положенні фіксують шаблон клейкою стрічкою.

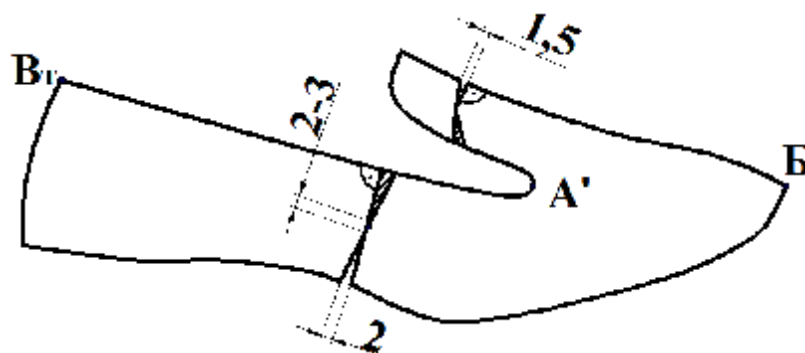


Рис. 3. Побудова проміжного шаблону

Проектування ґрунд-моделі зовнішніх деталей верху туфель.

Для побудови п'яtkового контуру лінію верхнього канту вкорочують на 2 мм (точка B'_n). Цю точку з'єднують плавною лінією з найбільш випуклою точкою п'яtkового контуру УРК, продовжуючи її вниз на 15 мм – припуск на затягувальну кромку для паперової склейки.

Оскільки, в моделі, що проектується, союзка має шов посередині, лінію її згину не будують, а контури деталей проходять по верхньому контуру УРК. По нижньому контуру моделі дають припуск 15 мм на затягувальну кромку (для макету-склейки).

Деталювання ґрунд-моделі, складання макету-склейки заготовки та її апробація на колодці. Апробацію макету-склейки здійснюють шляхом посадки склейки на колодку, особливу увагу звертають на прилягання верхнього канту та язичкової частини моделі до колодки.

Коригування ґрунд-моделі і встановлення необхідних припусків. Видимі краї задинок та верхнього канту деталей союзки оброблятимуться загинанням – припуск на загинання 4 мм; припуски на затягувальну кромку проектується в носковій частині – 13 мм – по довжині та 14–16 мм – по ширині, в пучковій частині припуск складатиме 17–18 мм, а в п'яtkово-геленковій – 15–18 мм. З метою створення простору для вклеювання задника в п'яtkовій частині робиться розріз, який розводять по нижньому контуру УРК на 3 мм. Деталі союзки з зовнішньої та з внутрішньої сторін з'єднуюватимуться між собою переметувальним в штик швом, а тому припуск на з'єднання не проектується. Для з'єднання деталей союзки по середині заготовки застосовуватиметься зшивний шов – припуск до відповідних деталей проектується 2 мм. Деталі язичкової частини союзки посередині так само зшиватимуться зшивним швом – відповідно припуск на зшивання складатиме 2 мм. Таким чином отримують робочі креслення деталей верху заготовки туфель-напівчереви́ків зі швом союзки посередині.

Проектування деталей підкладки. Конструктивно підкладка складається з суцільної підкладки під союзку, підкладки під язичкову частину союзки, підкладки під задник.

На рисунку 4 наведено складальне креслення туфель-напівчереви́ків зі швом союзки посередині.

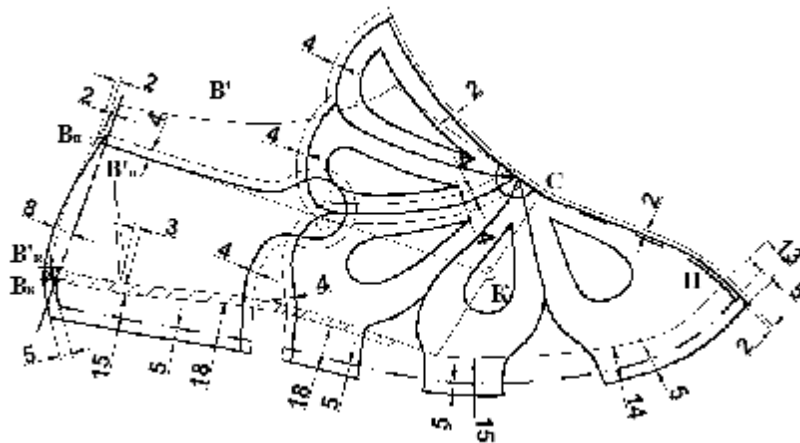


Рис. 4. Складальне креслення

Використані при проектуванні дитячого взуття принципи модульних трансформацій можуть також застосовуватися при розробці взуття жіночої та чоловічої статеві-вікових груп, а також різних виробів легкої промисловості (з додатковим опрацюванням аналогічних питань і врахуванням особливостей об'єктів розробки).

Практичну апробацію запропонованої методики було завершено виготовленням дослідної пари взуття, що представлена на рисунку 5.



Рис. 5. Виготовлена (дослідна) модель туфель-напівчереви́ків

Спроектвана модель взуття з врахуванням та з застосуванням основ модульних трансформацій пройшла виробничу апробацію.

Висновки

1. Застосований для створення моделей взуття для дітей-школярів метод модульної трансформації дозволяє отримувати різноманітні конструкції взуття за ступенем закритості та зовнішнім виглядом при наявності певного набору окремих модулів.

2. Метод модульної трансформації створює передумови максимальної експлуатації виробу, що особливо актуально для взуття дитячої групи, та економії матеріальних і трудових ресурсів.

3. Використані при проектуванні дитячого взуття принципи модульних трансформацій із подальшим можливим застосуванням основ аналітичного проектування дозволять створити бази даних моделей взуття, декоративних елементів, фурнітури, матеріалів і текстур, тим самим прискорюючи розробку колекцій виробів і вихід на новий інтерактивний рівень взаємодії виробників і споживачів.

Література

1. Преображенская М.М. Оптимизация методов художественного проектирования изделий из кожи на основе инновационных технологий : дис. ... канд. техн. Наук : 17.00.06 / Преображенская Мария Михайловна. – М., 2008. – 196 с.

2. Савчин, М. В. Вікова психологія : навч. посіб. : [рек. МОН молодьспорту України як навч. посіб. для студ. ВНЗ] / М. В. Савчин, Л. П. Василенко. – 2-е вид., допов. – К. : Академвидав, 2011. – 382 с.

2. Славінська А. Л. Наукові основи топологічних процесів модульного проектування одягу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.19.04 / А. Л. Славінська ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К., 2004. – 44 с.

3. Модульное проектирование конструкций обуви (на примере детской обуви) : автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. : специальность 05.19.06 «Технология обувных и коженно-галантерейных изделий» / Кораблина Светлана Юрьевна ; [Моск. гос. акад. легкой пром-сти]. – М., 1998. – 24 с

4. Петушкова Г.И. Проектирование костюма : учебник для вузов / Г.И. Петушкова. – М. : Академия, 2004. – 416 с. : ил.

5. Макарова Т.П. Мода как процесс формирования информационно знаковых систем в костюме : дис. ... канд. техн. наук : 17.00.06 / Макарова Татьяна Львовна – М., 2004. – 365 с.

6. Дизайн : иллюстрированный словарь-справочник / под общ. редакцией Г.Б. Минервина. – М. : Архитектура, 2004. – 281 с.

7. Рачицкая Е.И. Моделирование и художественное оформление одежды / Е.И. Рачицкая, В.И. Сидоренко. – Ростов н/Д. : Феникс, 2002. – 608 с.

Рецензія/Peer review : 9.1.2016 р. Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

Рецензент: прорецензовано редколлегією

ЕКОЛОГІЧНА СЕРТИФІКАЦІЯ ПРОДУКЦІЇ ТЕКСТИЛЬНОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВПЛИВУ НА ПОВНИЙ ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ

В статті розглядаються питання впровадження в Україні екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості, які потребують невідкладного вирішення. Аналізуються існуючі підходи щодо регулювання безпечності та екологічності текстилю – «Екотекстиль» та «Екотехнології». Обґрунтовується зв'язок між екологічною сертифікацією продукції текстильної та легкої промисловості та її повним життєвим циклом. Запропоновано етапи впровадження екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості в Україні.

Ключові слова: текстиль, продукція, екологія, стандарт, сертифікація, повний життєвий цикл.

NATALIA IVANIVNA UPIROVA, ANDRII MYKOLAIOVYCH SLIZKOV, OLEKSII OLEKSIIOVYCH HAIDEI

Kyiv National University of Technologies and Design

THE ECOLOGICAL CERTIFICATION OF TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY PRODUCTION AS THE TOOL OF INFLUENCE INTO THE WHOLE LIFE CYCLE OF THE TEXTILE GOODS

Abstract - It has been found that the problem dealing with the implementation of the ecological certification of textile and light industry production must be settled immediately. Two approaches to the regulation of safety and environmental friendliness of the soft goods ("Ecotextile" and "Ecotechnologies") were analyzed. The relationship between the ecological certification of textile and light industry production and the whole life cycle has been established. Phases of implementation of the ecological certification of textile and light industry production in Ukraine were suggested.

Key words: textile, production, ecology, standard, certification, whole life cycle.

Вступ

Перспективи інтеграції України до світового ринкового простору обумовлюють актуальність та необхідність впровадження екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості, оскільки відсутність екологічного сертифікату, що відповідає міжнародним стандартам, істотно обмежує можливості виходу вітчизняної продукції на ринки Європейського Союзу та інші міжнародні ринки.

Постановка задачі

Аналіз літературних джерел та позитивного європейського досвіду щодо екологізації продукції текстильної та легкої промисловості, обґрунтування доцільності впровадження екологічної сертифікації як інструменту впливу на повний життєвий цикл продукції.

Аналіз досліджень та публікацій

Як відомо, Угода про Асоціацію між Європейським союзом (далі ЄС) та Україною має забезпечити Україні умови для модернізації її торговельних відносин, адже режим вільної торгівлі відкриває для нашої країни один з найбільших ринків у світі і вітчизняні товаровиробники отримають доступ на ринок обсягом близько 500 млн споживачів та сукупним валовим внутрішнім продуктом, що перевищує 17 трлн дол. [1]. Додатками до Угоди про Асоціацію передбачається виконання Україною певних зобов'язань у певні терміни, а саме – запровадження необхідних законодавчих змін, поступова гармонізація та адаптація до європейських стандартів. Така робота є дуже необхідною, адже різниця у технічних регламентах, стандартах, системах контролю якості та безпеки є однією з перешкод для усунення бар'єрів у торгівлі та виходу вітчизняних товарів на ринок ЄС. Особлива важливість в зазначених процесах надається питанням ефективної діяльності в сфері екологічного регулювання, оскільки вже з 1 листопада 2014 року набуло чинності застосування деяких частин Угоди про Асоціацію, серед яких важливим елементом є охорона навколишнього середовища [2].

В ЄС проблемам екології текстилю приділяють значну увагу, як наслідок – високий рівень законодавства з цього питання та низка Рішень Комісії ЄС [3]. В країнах ЄС розроблена та вже давно й успішно реалізується стратегія екологічно орієнтованого менеджменту й екологічного підприємництва як одного з важливих напрямків модернізації. Крім того, всі підприємства цих країн в обов'язковому порядку проходять екологічний аудит [4]. Такий підхід значно підвищує відповідальність товаровиробника за результати своєї діяльності та сприяє високому рівню екологічної безпечності та конкурентоспроможності продукції.

Процес адаптації до європейського законодавства ускладнює те, що в ЄС незалежно від законодавчого регулювання діють приватні стандарти щодо певних соціально-економічних, моральних та екологічних вимог при виробництві товару. Довіра до таких стандартів у суспільства дуже висока, тому

вітчизняним виробникам, орієнтованим на експорт своєї продукції, не можна не приймати їх до уваги. Виникнення таких приватних стандартів зумовлене бажанням європейського споживача купувати продукцію, що була виготовлена із дотриманням трудових стандартів та із нанесенням мінімальної шкоди довкіллю та здоров'ю людини.

Україна у відомих міжнародних рейтингах щодо забезпечення екологічної безпеки займає середні позиції з тяжінням до низьких показників. Оскільки екологічна безпека є ключовим фактором, який має безпосередній вплив на соціальні та економічні показники, та зважаючи на намічений шлях до європейської спільноти, для України є актуальним питання активної участі в екологічних ініціативах і всебічного використання кращого досвіду розвинених країн [5]. Одним з способів долучення до європейських екологічних ініціатив є впровадження екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості. Такий крок матиме низку важливих наслідків [6]: сприятиме підвищенню репутації України як учасника міжнародних екологічних програм; забезпечить розширення можливостей виходу української текстильної продукції на міжнародні ринки; підвищить гарантії захисту українського споживача від текстильної продукції сумнівної якості; позитивно вплине на рівень конкурентоздатності вітчизняних товарів на внутрішньому ринку.

Для впровадження в Україні екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості потрібно вирішити та узгодити ряд організаційно-методологічних проблем. Частково ці проблеми було розглянуто авторами у попередніх публікаціях, де було досліджено особливості міжнародної системи перевірки та сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості *Öko-Tex* та шляхи розвитку екологічної сертифікації в Україні [7, 8]. Серед питань, що потребують подальшого розвитку – вивчення та конкретизація чинників, які визначають рівень екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів та процедур її нормування та оцінювання, а також розширення номенклатури критеріїв оцінки конкурентоспроможності текстильних матеріалів за рахунок показників гігієнічності та екологічної безпечності. [3, 6, 9, 10, 11]. З огляду на це, важливим є вивчення механізмів впливу екологічної сертифікації текстильних матеріалів на повний життєвий цикл (далі ПЖЦ) виробів та на екологічну ситуацію на підприємствах текстильної та легкої промисловості в цілому. Крім того, існує необхідність розроблення та узгодження етапів впровадження екологічної сертифікації.

В країнах ЄС в області екології текстилю успішно діє стандарт *Öko-Tex Standard 100*, який регламентує вміст у текстильних виробах шкідливих речовин, що можуть у процесі експлуатації чи зберігання мігрувати з цих матеріалів і виробів до тіла людини та у навколишнє середовище і негативно впливати на них [12]. Під впливом *Öko-Tex Standard 100* формуються сучасні системи сертифікації текстильних матеріалів в багатьох країнах світу [8]. Відповідно до цього стандарту, ознаками екологічно безпечних матеріалів та виробів є використання для їхнього виробництва тільки екологічно чистої сировини та екологобезпечних технологій [6]. Для гарантування безпеки текстильних матеріалів та виробів впроваджено добровільну екосертифікацію – проведення перевірок на відповідність вимогам *Öko-Tex Standard 100*.

В Україні розроблено вітчизняний екологічний стандарт ДСТУ 4239:2003 «Матеріали і вироби текстильного і шкіряного побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги». Екологічні та гігієнічні вимоги, сформульовані у ДСТУ 4239:2003, гармонізовані з аналогічними вимогами до екотекстилю, наведеними у *Öko-Tex Standard 100* [3]. Але екологічна сертифікація текстильних матеріалів та виробів в Україні не проводиться, лише деякі організації та установи, наприклад, товариство «Жива планета», надають посередницькі послуги українським виробникам в проведенні перевірок європейськими органами сертифікації [13]. Такими послугами цікавляться в основному виробники, орієнтовані на європейські ринки збуту. Українському же споживачеві залишається купувати текстильну продукцію, що не проходила перевірок на екологічну безпеку. Потрібно відмітити, що рівень незахищеності українського покупця останнім часом збільшується, оскільки з кінця 2013 року з переліку продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації вилучено навіть дитячий одяг і взуття [8, 14].

Як було зазначено, в основі вимог стандарту *Öko-Tex Standard 100* лежить тільки принцип безпеки виробу для здоров'я людини, інші характеристики якості або інші аспекти, такі як умови виробництва, утилізація, переробка, навіть не розглядаються [15]. Тобто, хоча відносно показників якості та безпечності сировини або готової продукції *Öko-Tex Standard 100* є найбільш вимогливим, сертифікація на відповідність *Öko-Tex Standard 100* не охоплює ПЖЦ продукції. На зважаючи на це, прагнення виробника довести свою продукцію до рівня, який відповідає вимогам *Öko-Tex Standard 100*, змушує його втілювати заходи з модернізації виробничих потужностей та впровадження новітніх розробок в галузі текстильного виробництва, що стосуються екологізації технологій і виробництва в цілому. Адже, не можна отримати екологічно чисту продукцію в екологічно шкідливих умовах. Сприятиме втіленню таких заходів робота органу сертифікації з виробниками, чиї вироби не одержали позитивний відгук в результаті лабораторних перевірок. Мається на увазі те, що одна з функцій органу сертифікації – надання методичних рекомендацій та практичної допомоги щодо усунення виявлених під час перевірок невідповідностей показників властивостей їх нормованим значенням. Таким чином можна стверджувати, що впровадження екологічної сертифікації текстильних матеріалів та виробів опосередковано впливатиме на екологізацію всіх етапів

життєвого циклу продукції та на екологічний стан підприємств текстильної та легкої промисловості України.

Як відомо, у світі в наш час чітко виявились дві принципово різні тенденції щодо регулювання безпечності та екологічності текстилю [3, 11, 16], які реалізуються через систему «Екотекстиль» та систему «Екотехнології».

Система «Екотекстиль» означає стандартизацію вимог щодо екології та безпеки текстильних матеріалів та одягу з метою унеможливлення негативного впливу хімічного фактору на здоров'я населення. Саме цій системі відповідає зміст європейського стандарту Öko-Tex Standard 100 та вітчизняного стандарту ДСТУ 4239-2003. Такий підхід до реалізації концепції ПЖЦ означає застосування екологічного менеджменту і аудиту на базі національного і міжнародного стандартів по екологічному менеджменту, в першу чергу міжнародних стандартів ISO серії 14 000. Такий підхід дозволяє підприємствам вчасно реагувати на нові екологічні вимоги різних законодавчих і нормативних документів і він сповна здійснимий на теренах України в короткотерміновій перспективі.

Система «Екотехнології» – це напрямок створення таких умов виробництва сировини та одягу, коли б вони з 100% гарантією не вміщували «хімії». Такий підхід передбачає впровадження у виробництво текстильних матеріалів та виробів технологій, що взагалі не застосовують потенційно-токсичні і шкідливі для навколишнього середовища речовини, що означає впровадження концепції екологічно більш безпечних технологій (виробництв), тобто вибір кращих з існуючих технологій. Цій системі відповідають екологічні критерії і програми екологічного маркування згідно ISO 14024, і вона є дуже важливою для покращення екологічної ситуації на текстильних підприємствах. Система «Екотехнології» в найбільш комплексному вигляді реалізується в рамках ЄС на основі директиви IPPC (комплексне попередження і контроль забруднень) [3, 11]. Разом з тим, такий напрямок потребує всебічного вивчення та вироблення єдиних підходів оцінювання ПЖЦ текстильної продукції та аналізу технологій, існуючих на підприємствах текстильної та легкої промисловості України, оскільки немає однозначного бачення ПЖЦ для різної текстильної продукції, немає критеріїв виділення кращої технології, і такий підхід можливо реалізувати в Україні в більш довгостроковій перспективі.

Таким чином, впровадження екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості в Україні може відбуватись за наступними етапами:

I етап – застосування принципу «Екотекстиль», тобто впровадження екологічної сертифікації імпортованої та вітчизняної продукції відповідно до вимог стандартів Öko-Tex Standard 100 та ДСТУ 4239-2003 з метою гарантування споживачу якості та екологічної чистоти текстильної продукції та просування вітчизняної продукції текстильної та легкої промисловості на європейські та світові ринки. На цьому етапі буде встановлено бар'єр для ввезення на територію України екологічно забруднених текстильних товарів, екосертифікація текстилю стане більш доступною для українського виробника, а вплив екологічної сертифікації на ПЖЦ продукції та на екологічну ситуацію на підприємствах текстильної та легкої промисловості буде опосередкованим.

II етап – застосування принципу «Екотехнології», тобто вдосконалення та розширення сфери дії екологічної сертифікації вітчизняної продукції та урахування аспектів ПЖЦ виробів. Застосування такого принципу є актуальним саме для вітчизняної продукції, оскільки сприятиме екологізації всіх стадій ПЖЦ виробів, поліпшенню екологічної ситуації на підприємствах текстильної та легкої промисловості України та підтвердженню прагнення України долучитись до міжнародних екологічних програм широкого загалу.

Висновки

Питання впровадження в Україні екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості потребує невідкладного вирішення, оскільки кардинально вплине на підвищення її конкурентоспроможності та вихід на міжнародний та європейський ринок. Існуючі підходи щодо регулювання безпечності та екологічності текстилю – «Екотекстиль» та «Екотехнології» – дозволяють впроваджувати екологічну сертифікацію поступово, враховуючи інтереси споживачів та виробників продукції. Така поетапність забезпечить спочатку опосередкований, а потім і прямий вплив на ПЖЦ продукції та на покращення екологічної ситуації на підприємствах текстильної та легкої промисловості в цілому.

Література

1. Європейський ринок відкриють для українських товарів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://economics.unian.ua/finance/903071-evropeyskiy-rinok-vidkriyut-dlya-ukrajinskih-tovariv-z-15-travnnya-yatsenyuk.html>
2. Угода про асоціацію між ЄС та Україною. «Короткий посібник з Угоди про асоціацію» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://eeas.europa.eu/delegations/ukraine/documents/association_agreement/guide.pdf
3. Богданов Г.Г. Еволюція матеріалів для одягу : навчальний посібник / Г.Г. Богданов, З.В. Захожай. – К. : КНУТД, 2003. – 280 с.

4. Акуленко Л. Початок режиму вільної торгівлі з ЄС. Які зміни чекають на український бізнес [Електронний ресурс] / Акуленко Л., Бровко О., Микуляк В. – Режим доступу : <http://www.eurointegration.com.ua/articles/2015/11/26/7041241/>
5. Харламова Г. Індекс екологічної безпеки України: концепція та оцінка / Г. Харламова, В. Бутковський // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. – 2014. – № 7. – С. 92–97.
6. Семак Б.Б. Роль маркетингу на ринку екотекстилю / Б.Б. Семак, М.А. Коваленко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. Т. 1. – С. 158–162.
7. Слізков А.М. Проблеми екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості і шляхи їх вирішення / А.М. Слізков, Н.І. Упірова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 2. – С. 221–226.
8. Упірова Н.І. Шляхи розвитку екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості України / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, Л.А. Дмитренко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 3. – С. 157–163.
9. Галик І.С. Екологічна безпечність текстилю: проблеми і рішення / І.С. Галик, Б.Б. Семак // Вісник Хмельницького національного університету – 2014. – № 6. – С. 88–90.
10. Галик І.С. Шляхи підвищення конкурентоспроможності вітчизняного текстилю на ринках / І.С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 2. – С. 97–102.
11. Супрун Н.П. Сучасні проблеми виробництва безпечного споживання та екологічно чистого текстилю : монографія / Н.П. Супрун, Г.В. Щуцька. – Кафедра, 2013. – 112 с.
12. https://www.oeko-tex.com/ru/manufacturers/concept/sustainable_textile_production_step/step.xhtml
13. <http://www.ecolabel.org.ua/>
14. Гайдей О. О. Ситуаційне управління і формування регіональної промислової політики / В. В. Ясинський, О. О. Гайдей // Сіверянський літопис. – Чернігів, 2002. – № 4 (46). – С. 171 – 178.
15. Салімов Е. Розвиток ринку екотекстилю в Україні відбуватиметься за європейськими стандартами / Е. Салімов // Електронний журнал «Екопогляд». – 2013. – № 11–12. – С. 59.
16. Поліщук, С. С. Напрями досягнення конкурентоспроможності текстильної продукції в обробному виробництві / С.С. Поліщук, С.О. Поліщук // Легка промисловість. – 2004. – № 2. – С. 46.

Рецензія/Peer review : 18.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Супрун Н.П.

УДК 687. 157.008

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ, І.Г. СОЛОНЕНКО

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ЛІКУВАЛЬНО-БАНДАЖНИХ ВИРОБІВ ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОСУ

В даній статті представлені результати досліджень експлуатаційних властивостей тканин, які використовуються для виробництва лікувально-бандажних виробів. Встановлені закономірності зміни величини розривного навантаження та видовження в залежності від кількості прання. Обґрунтовано, що інтенсивність зношування у тканин різна і залежить від фізико-хімічних властивостей матеріалів.

Використовуючи результати експериментальних та теоретичних досліджень, визначені основні вимоги до тканин для виготовлення лікувально-бандажних виробів, розроблена методика їх вибору для кожного конкретного випадку. Результати досліджень можуть бути застосовані для раціонального вибору матеріалів виробів спеціального призначення, а також визначення оптимальних умов їх експлуатації. Представлена методика оптимального вибору тканин з використанням програм в системі MathCAD.

Ключові слова: матеріали медичного призначення, лікувально-бандажні вироби, механічні характеристики, експлуатаційні властивості, зносостійкість, прання.

O.V. NAKHAICHUK, E.A. ZAKHAROVA, A.A. MIZRAKH, I.H. SOLOMONENKO

Vinnytsia Institute of Designing of cClothes and Entrepreneurship

STUDY A CHANGE OF OPERATIONAL PROPERTIES MATERIALS OF MEDICATIVE-BANDAGE PRODUCTS FROM WEAR INTENSION

This article presents the results of research performance properties of fabrics used for the production of health-bandage products. The established patterns of change of the tensile strength and elongation depending on the amount of washing. Proved that the intensity of wear in different tissues, depending on the physical and chemical properties of materials. Using the results of experimental and theoretical research, identified the basic requirements for fabric for making health-bandage products, developed a method of their choice for each case. The research results can be applied to a rational choice of material products for special purposes, and to determine the optimal conditions of use. The methods of optimal choice of fabrics using programs in the system MathCAD.

Keywords: medical supplies, medical bandage products, mechanical characteristics, operating properties, durability, wash.

Вступ

Однією з найважливіших проблем стану здоров'я населення України є зростання захворюваності. В теперішній час спостерігається збільшення показників захворювань сечостатевої системи у чоловіків старшого віку, що призводять до хірургічного втручання з особливими вимогами і дотриманням гігієнічних норм, а саме використання спеціальних виробів після проведення операцій.

Особливого підходу потребує розробка одягу для урологічних хворих. Лікувально-бандажні вироби повинні мати конструктивні елементи, які дозволяють проводити медичні процедури. Конструкція повинна передбачати якомога менше швів для зниження ризику пошкодження шкіри, шви повинні бути не грубими. Матеріали для лікарняного одягу також повинні бути м'якими, легкими, прийнятними на дотик, мати невелику жорсткість, не спричиняти подразнюючої дії на шкіру. Зручність та комфорт одягу для урологічних хворих визначається його ергономічними властивостями та досягаються за рахунок використання відповідних матеріалів, конструкції, методів технологічної обробки.

Метою роботи є розробка наукових підходів до оптимального вибору тканин, що використовуються для виготовлення лікувально-бандажних виробів. Для досягнення мети були сформульовані **задачі**:

- визначити основні вимоги до тканин для виготовлення лікувально-бандажних виробів;
- дослідити пакети матеріалів, що використовуються для даного типу виробів;
- розробити методику дослідження змін експлуатаційних властивостей тканин від інтенсивності їх зношення.

Об'єктом дослідження є зразки тканин для виготовлення лікувально-бандажних виробів.

Предмет дослідження – бандажний пояс та спідниця для урологічних хворих.

Експериментальні дослідження проводили на основі стандартних, вдосконалених оцінок властивостей матеріалів і пристроїв, а отримані результати оброблялися із застосуванням ПК і математичної статистики.

Експериментальна частина

Задача покращення якості виробів спеціального призначення тісно пов'язана з необхідністю прийняття критеріїв їх оцінки, яка, в свою чергу, базується на дослідженні окремих їх показників та характеристик. Для виявлення основних властивостей лікувально-бандажних виробів було проведено опитування і апіорне ранжування. Встановлено, що основними факторами, які чинять визначний вплив на якість, є фізико-хімічні властивості матеріалів та умови експлуатації. Тому лікувально-бандажні вироби поряд з підвищеними захисними властивостями повинні мати відповідні експлуатаційні характеристики.

У виробництві бандажів застосовуються сучасні тканини і еластичні полотна із змішаних, синтетичних і натуральних волокон, бандажні еластичні стрічки. Текстильні матеріали з антимікробними

властивостями використовуються для виготовлення одягу, білизни, перев'язувальних засобів, санітарно-гігієнічних виробів. Вони є ефективними в якості захисних засобів проти інфекцій.

Разом з тим, фізико-механічні, гігієнічні та естетичні властивості текстильних носіїв для виробництва антимікробних матеріалів медичного призначення вивчені недостатньо, відсутня класифікація виробів, не систематизовані вимоги і показники, що пред'являються до текстильних матеріалів з антимікробними властивостями [4, 5].

До матеріалів лікувально-бандажних виробів висувають вимоги високої міцності з метою запобігання передчасному руйнуванню виробів та забезпечення захисту від проникнення хвороботворної мікрофлори в підодяговий 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.

Для матеріалів медичного призначення сировинний склад текстильних носіїв дуже важливий. Згідно нормативно-технічної документації, медичний одяг виготовляють з натуральних тканин. Такі матеріали повинні забезпечувати медичним виробам не тільки високі захисні властивості, а й володіти хорошими вологосорбційними характеристиками для того, щоб поглинати і утримувати не тільки виділення людини, а й сам антимікробний препарат. Тому для антимікробних текстильних носіїв потрібно підбирати оптимальний волокнистий склад.

Однією з найважливіших характеристик текстильних матеріалів медичного призначення також є формостійкість, тобто здатність матеріалу набувати і утримувати певну форму під час експлуатації. Поряд з перерахованими характеристиками, для медичних текстильних полотен важливо встановити показники жорсткості і незмиральності, які визначають естетику і комфортність медичних виробів.

Для виготовлення лікувально-бандажних виробів необхідно підібрати матеріали з достатніми захисними та гігієнічними властивостями (табл. 1). Ці властивості мають однаково важливе значення під час експлуатації, та складаються з комплексу показників, які їх характеризують. Захисні властивості впливають на розривне та роздираюче навантаження, стійкість до дії тертя, тощо (табл. 2). Гігієнічні властивості визначають здатність одягу створювати та підтримувати в підодяговому шарі комфортні умови. В процесі експлуатації лікувально-бандажні вироби періодично підлягають пранню, при якому відбувається зміна властивостей виробу від дії на нього миючих засобів, тертя, кручення, високих температур поверхні прасування. В результаті відбувається зношення одягу, що перш за все позначається на зміні гігієнічних та захисних властивостей лікувально-бандажних виробів.

Таблиця 1

Геометричні характеристики тканин для лікувально-бандажних виробів

№ зразка тканини	Волокнистий склад	Товщина тканини, мм	Поверхнева щільність M_L , г/м	Лінійна густина ниток, текс		Кількість ниток на 10 см	
				по основі	по утку	по основі	по утку
1	65% бавовна 35% лавсан	0,30	181	21,0	21,0	529	288
2	75% бавовна 25 % лавсан	0,41	201	40,0	60,8	228	179
3	100% бавовна	0,32	169	18,28	41,0	410	209
4	50% бавовна 50% лавсан	0,31	175	18,0	20,0	480	260
5	85% бавовна 15 % лавсан	0,40	210	38,0	49,5	360	180

Таблиця 2

Механічні характеристики тканин для лікувально-бандажних виробів

№ зразка тканини	Драпіруемість D , %		Жорсткість V_y , Нсм ²		Повітропроникність, B (дм ³ /м ² с) при вологості W		Розривне навантаження F_r , даН		Розривне видовження I_r , мм	
	по основі	по утку	по основі	по утку	65 % (нормальні умови)	100 %	по основі	по утку	по основі	по утку
1	38,4	38,9	310,2	280,5	50	22	180	84	21,1	44,4
2	33,8	34,2	246,4	210,8	107	38	245	120	71,2	70
3	32,6	33,4	394,7	310,4	47	23	280	186	90	68,5
4	34,8	34,7	308	302	98	43	190	110	27	33
5	35,9	36,1	304	297	64	36	240	220	36	48

В теперішній час проводиться багато досліджень по вивченню та аналізу певних властивостей матеріалів для виготовлення виробів медичного призначення. Вибір властивостей зумовлений тим, що вони є найвагомішими у характеристиці процесу та кінетиці зношування одягу, що виготовлений з цих тканин.

Дана стаття присвячена дослідженню зміни захисних властивостей лікувально-бандажних виробів. Відомо, що величини розривного навантаження та видовження змінюються з часом в залежності від кількості обробок (забруднення з послідовним пранням). Тому доцільним буде розглядати зміну гігієнічних властивостей матеріалів в залежності від кількості обробок.

З метою дослідження зміни механічних характеристик і зносостійкості тканин медичного призначення для виготовлення лікувально-бандажних виробів було підібрано п'ять зразків матеріалів. Значення вихідних лінійних і механічних властивостей матеріалів подані в таблицях 1 та 2.

В процесі експлуатації лікувально-бандажні вироби неодноразово піддаються дії прання. В результаті виникає зміна мікроструктури матеріалів. При пранні поступове зношування матеріалів виникає в результаті дії як фізико-хімічних, так і механічних факторів. До фізико-хімічних факторів відносять дію миючого засобу і температури, нагрівання при сушінні і прасуванні, до механічних – мокре тертя тканини по тканині і деталях пральної машини, багаторазові складні взаємозв'язані деформації кручення розтягу, стиску, згину. Так як прання виконується після деякого строку носіння лікувально-бандажних виробів, їх зношування відбувається від взаємних дій експлуатації та прання.

Експериментальні дослідження включали вивчення впливу кількості прання (n) на розривне навантаження F_p та на видовження l_p згідно ГОСТ 17922-72 «Ткани штучные и изделия текстильные. Метод определения раздирающей нагрузки» на розривній машині РТ – 250М. Для дослідних робіт був використаний метод малих смужок, призначений для випробування на розрив зразків пробних смужок шириною 50мм при затискній довжині 200 мм (ГОСТ 3812—72). Цей метод застосовують при випробуванні тканини і трикотажних полотен [1, 2, 3]. Прання виконувалось в лабораторних умовах за допомогою пральної машини, в яку заливали воду підігріту до температури 80°C і добавляли синтетичний миючий засіб. Потім поміщували пробні зразки (проби) і прали 30 хв. Після цього проби полоскали 10 хв, віджимали і висушували при атмосферних умовах. На наступному етапі проби прасували протягом 2 хв. праскою. Пропрасовані проби розрізали на елементарні зразки 50x200 мм три по основі і три по утку. Під час експериментальних досліджень прання виконувалось 10 разів для кожного артикулу, причому механічні характеристики вимірювалися після першого, п'ятого та десятого прання. Результати експериментальних досліджень представлені в табл. 3.

При обробці результатів досліджень була використана розрахункова система MathCAD, розроблені прикладні програми розрахунку залежності зміни розривного навантаження F_p від кількості прання та видовження. Загальна формула має вигляд:

$$F_p = F_0 - A \cdot \frac{n^z}{l_p} \quad (1)$$

де F_0 – значення розривного навантаження (даН) до прання (при $n = 0$ $F_p = F_0$);

n – кількість прання;

l_p – розривне видовження (мм);

A, n – коефіцієнти, які залежать від індивідуальних властивостей тканини та розраховувались для кожного зразка (таблиця 4).

Розбіжності між експериментальними даними та розрахованими за формулою (1) не перевищували 5%.

Таблиця 3

Результати експериментальних досліджень

№ зразка	1		2		3		4		5	
Кількість прання	l_p , мм	F_p , даН	l_p	F_p	l_p	F_p	l_p	F_p	l_p	F_p
0	21,1	180	71,2	245	90	280	27	190	36	240
1	18,9	162	64	223	81	257,6	24,3	171	32,4	216
5	17,3	144	57	196	76,5	246,4	21,6	152	30	200
10	15,8	135	53,4	183	72	224	20	142	27	180

Таблиця 4

Розрахункові значення коефіцієнтів

№ зразка	1	2	3	4	5
Коефіцієнти	z	0,32	0,37	0,347	0,32
	A	372	$1,54 \cdot 10^3$	$1,47 \cdot 10^3$	492

Графіки залежності (у двох видах) значень розривного навантаження F_p (даН) від кількості прань n та розривного видовження l_p (мм) представлені на рис. 1.

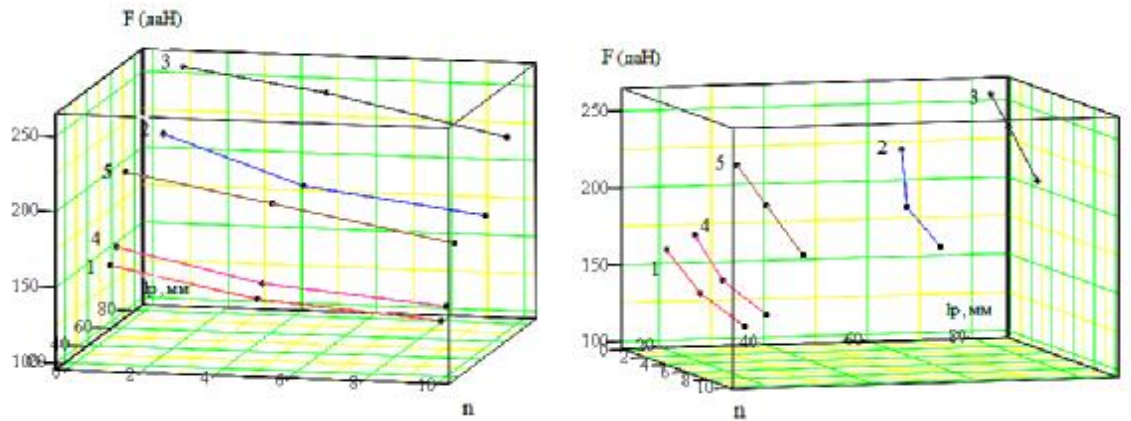


Рис. 1. Графіки залежності зміни розривального навантаження F_p (даН) зразків тканин від кількості прання n та розривного видовження l_p (мм)

Аналізуючи графічні дані, можна зробити висновок, що значення розривного навантаження зразків суттєво залежить від властивостей матеріалів та кількості прання. Можна також відмітити, що інтенсивність зменшення міцності у тканин різна, і очевидно, залежить від фізико-хімічних властивостей матеріалів. Наприклад, графіки зміни розривного навантаження у зразків 3 та 5 мають випуклий характер, що свідчить про те, що дані тканини більш стійкі до зношування і можуть бути рекомендованими до застосування в порівнянні з іншими.

Висновки

1. Одержали подальший розвиток розрахунково-експериментальні методи дослідження властивостей матеріалів медичного призначення. Встановлено, що на характеристики дослідних тканин значний вплив чинять як структура та фізико-хімічні властивості, так і умови експлуатації, зокрема, кількість прання.

2. Визначені основні вимоги до тканин для виготовлення лікувально-бандажних виробів, врахування яких дає можливість в найкращому варіанті підібрати їх для кожного конкретного випадку.

3. Представлена методика дослідження змін експлуатаційних властивостей тканин від інтенсивності їх зношення. Отримані аналітичні залежності дозволяють в широких межах проводити дослідження впливу на розривне навантаження змін геометричних розмірів та кількості прання.

4. Результати досліджень можуть бути застосовані для оптимального вибору матеріалів для виготовлення лікувально-бандажних виробів та визначення оптимальних умов їх експлуатації.

Література

1. Материаловедения швейного производства / Бузов Б.А. и др. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.
2. Бахшиева Л.Т. Влияние стирки на тепловые свойства пакетов теплозащитной одежды / Л.Т. Бахшиева, Е.А. Захарова, В.И. Александров, В.С. Салтыкова // 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. Нахайчук О.В. Розробка комплексу спеодягу від промислового забруднення АЗС / О.В. Нахайчук, Е.А. Захарова, В.П. Якубович // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 1. Т.1. – С. 221–224.
5. Захарова Е.А. Проектні розробки одягу для урологічних хворих / Е.А. Захарова, Д.М. Іллінська, Є.В. Рой // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2. Т. 1. – С. 124–128.

Рецензія/Peer review : 5.1.2016 р. Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сивак І.О.

УДК 677.11: 338.4:006.015.8

Ю.В. БЕРЕЗОВСЬКИЙ

Херсонський національний технічний університет

НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБКИ ЛЛЯНОЇ СИРОВИНИ

У статті розглянуто питання виробництва, пошуку шляхів підвищення об'ємів виробництва і якості лляної продукції. Проаналізовано напрямки розвитку і конкурентоспроможності лляної галузі. Опрацьовано теоретичні питання ефективного використання наявної в країні лляної сировини. Вказується на те, що модернізація лляного виробництва повинна проходити через застосування сучасних технологічних розробок і обладнання обробки лляної сировини.

Ключові слова: волокно, льон, сировина, якість, очищення, переробка, обладнання, виробництво.

Y.V. BEREZOVSKY

Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

APPLICATION MODERNIZATION OF THE PROCESSING EQUIPMENT FLAX RAW MATERIAL

Abstract – Theoretical aspects of formation flax production from the standpoint of using properties of flax raw material are developed. In the article considers the direction development of domestic and world commodity markets, points on the improvement quality of linen contents production through the using of front-rank technologies and methods of modernization equipment.

In the process of research the methods of theoretical generalization and comparison, analysis and synthesis are used. In the manuscript the question of production, finding ways of improving to the volumes production and quality a flax products is considered. Lines of the block market diagram existing today Ukraine for the purpose of development of adequate scenarios of its development were defined. The critical analysis of recommendations of certain very influential advisers and institutes of world level on increase of the level of quality flax production was carried out. The principles of modernization flax production based on improving the design features of industrial technological equipment were offered.

The questions issue of finding ways of improving the quality and expansion of the assortment of high quality flax and flax-type textiles of different methods of treatment are considered. There have been explored theoretical issues of more efficient use of existing in the country flax materials. Also linen material is the most accessible, as may be cultivated and stored up in large volumes in Ukraine, it can provide the highest quality of the final product and a reliable renewable source.

Thus, research promising areas formation of production technologies and assortment of textile materials allows evaluating the development of the national flax production. Perspectives for further research in the field are the modernization of flax raw material production by using modern types high technologies and know-how.

Keywords: fibre, flax, raw material, quality, cleaning, processing, equipment, production.

Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. У світовому виробництві кінець XX та початок XXI століття характеризується значним підйомом і більш широким використанням природних волокон, зокрема льону і конопель. Підвищений інтерес до таких культур, як у країнах Європейського Союзу, так і у світі в цілому визначається, головним чином, відносною дешевизною та доступністю сировини. Так, з усіх країн Європейського Союзу 9 країн вирощують або в недалекому минулому вирощували луб'яні культури.

Лляна продукція досить затребувана і ціниється на світових ринках. Так, високоякісні лляні тканини нерідко коштують значно дорожче деяких вовняних та шовкових і, тим більше, бавовняних. Таке співвідношення вже склалося давно.

Вироби з технічних лляних тканин є незамінними для харчової, оборонної, автомобільної та інших галузей економіки. Лляні тканини систематично дорожчають, як, втім, і інші вироби легкої промисловості. Але при цьому продукція лляної підгалузі останнім часом дорожчає швидше в порівнянні з іншими підгалуззями. Так, у 2000 р. основне подорожчання в легкій промисловості було зафіксовано на продукцію первинної обробки льону, і якщо ціни всіх виробників продукції легкої промисловості в цілому зросли за рік на 22,3 %, то продукція виробників льону подорожчала в 1,5 разу. Звідси і зростання середніх роздрібних цін на лляні тканини і вироби з них. У продажу, як правило, представлені побутові та технічні тканини шириною 150 см, рідше – 190–210 см, рушникові полотна – 50 см шириною [1].

Льон, як і коноплі для вітчизняних виробників є традиційними технічними культурами, які завдяки унікальним споживчим властивостям, користуються великим попитом на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Особливе значення для вітчизняної текстильної промисловості має перспективний напрямок у використанні короткого лляного волокна і відходів тіпання для виробництва бавовноподібного волокна – катоніну для отримання сумішевих пряд і тканин. Виробництво пряді із катонізованого льоноволокна в суміші з бавовною дає можливість скоротити потребу в бавовні на 30-50 відсотків. На основі наукових розробок машинобудівні організації створили обладнання для отримання катонізованого лляного волокна, яке використовується на підприємствах лляної промисловості.

Нестабільність перебування ринку лляної продукції України не сприяє дотриманню чітких стандартів на льономісні товари та покращанню їх якості. При цьому вітчизняна легка промисловість перебуває майже на межі існування, її кризовий стан ускладнюється незацікавленістю державою в розвитку даної галузі, зарегульованістю економіки, загостренням конкуренції за споживача, появою нового асортименту продукції, розвалом сировинної бази країни та дегармонізації нормативної основи. У той же

час з ростом людства в світі все гостріше і гостріше стає проблема забезпечення необхідними якісними продуктами харчування, гігієни та гарною, цінною за своїми властивостями продукцією легкої промисловості.

При цьому, слід зазначити, що перспективною ознакою для національної лляної промисловості може стати прихід у дану галузь потужних інвесторів, що можуть крім грошових вливань, принести нові технології, техніку, обладнання та інноваційні розробки.

В Україні вирощують як льон-довгунець, так і льон олійний, однак стебла льону-довгунця відрізняються за анатомічними, геометричними, морфологічними ознаками від льону олійного, при цьому технологічні операції переробки стеблових матеріалів за існуючими технологіями мають однаковий характер. Солома льону олійного після збирання практично не переробляється, а нагромаджені об'єми соломи фактично гниють на полях або спалюються, що спричиняє значні екологічні проблеми. При цьому у світовій практиці використання соломи льону олійної має широкий спектр застосування, оскільки його луб'яна частина має значну частку целюлозного волокна.

Якість льонотрести і готової продукції з неї є однією з головних проблем розвитку лляної галузі в Україні. Низька якість є результатом ряду факторів, що впливають на даний сектор економіки країни. Хоча, слід зазначити, що якість лляної продукції напряму пов'язана з ефективністю технології обробки лляної сировини і відтворювальною структурою капітальних вкладень в льонопереробні підприємства.

У такій ситуації доцільно вибирати напрямок на технічне переозброєння льонопереробних підприємств з метою підвищення технічного рівня технологічного обладнання шляхом заміни морально і фізично застарілого обладнання для підвищення споживчих властивостей лляної продукції. В умовах підвищеної конкурентної боротьби за споживача в Україні та, особливо, на міжнародних ринках використання «ноу-хау» та впровадження інноваційних розробок надає можливість вітчизняним підприємствам переробної галузі стабільно працювати та розвиватися, оскільки перспективне технічне переозброєння виробничих процесів створює можливість зменшення витрат сировини, енерговитрат, покращує технологічні процеси переробки зі збереженням властивостей, забезпечення достатньо високої якості та кількості продукції. Тому, пошук і розробка сучасних передових складних механічних та технологічних розробок, що надають можливість у процесі виробництва товарів з високою додатковою цінною отримати належний позитивний соціально-економічний ефект є актуальним сьогоднішнім, особливо якщо це стосується сфери лляного виробництва продукції.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Теорія та практика технічного переозброєння підприємств, модернізація виробництва, застосування сучасних технологій і обладнання обробки лляної сировини, що охарактеризовані в наукових джерелах [1–10], дають підставу стверджувати, що на нинішньому етапі розвитку народного господарства України досягнення суттєвих результатів з переробки стебел льону, особливо мало затребуваних видів, можливе через застосування на підприємствах сучасних інноваційних технологій переробки з врахуванням всіх анатомічних і фізико-механічних властивостей стебел льону, нових тенденцій споживчого ринку, технічних рішень та оригінальних прийомів обробки новими пристроями.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Нині як в Україні, так і у світі формуються наукові засади з пошуку шляхів модернізації існуючого обладнання, створення сучасних технологій переробки та оброблення лляного матеріалу, проектування прогресивного нового устаткування або його вузлових складових, які в результаті їх впровадження можуть позитивно вплинути на підвищення якісних і кількісних показників кінцевої продукції. Слід зазначити, що дотепер недосить розкрито дане питання з позиції створення та застосування вузлових з'єднань м'яльно-тіпального агрегату, які за рахунок технічних рішень можуть покращити процес очищення лляної сировини.

Формулювання цілей статті. Метою роботи являється розгляд питань пошуку, створення конструктивних змін обладнання переробки лляної сировини, які за рахунок оригінальних рішень надають можливість покращення технологічних процесів переробки зі збереженням споживчих і функціональних властивостей оброблювального лляного матеріалу.

У статті вказуються сучасні напрями розвитку лляної галузі, розкриваються особливості технологічного процесу обробки лляної сировини та шляхи підвищення технічного рівня технологічного обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Вирощування й переробка льону пов'язані з великими трудовитратами, споживанням значного обсягу інших матеріально-технічних і енергетичних ресурсів. При цьому рівень розвитку льонарства визначається, насамперед, ступенем забезпеченості лляною сировиною високої якості і тісно пов'язаний з ефективністю технології обробки лляної сировини і відтворювальною структурою капітальних вкладень.

У наш час більшість льонопереробних підприємств мають у своєму використанні обладнання, знос яких складає 70–80 %. Нова високопродуктивна техніка є абсолютно недоступною: навіть передові господарства не в змозі купувати європейські технологічні машини, а з трьох спрацьованих механізмів примудряються скласти один працюючий. Для підвищення ефективності льонарства необхідно технічне переобладнання льонопереробних підприємств, насамперед, підприємств, що займаються підготовкою

сировини та її переробкою.

У такій ситуації вітчизняним льонопереробним підприємствам доцільно модернізувати існуюче устаткування переробки лляної сировини або розробляти і освоювати нове сучасне обладнання, що надасть можливість підвищити продуктивність праці, якість та кількість отриманої продукції.

Лляна сировина, що поступає для переробки на м'яльну машину, неоднорідне за своїми фізичними властивостями. Воно, складається із стебел різної товщини, ступені вилежування і вологості. Окремі стебла мають різну критичну довжину зламних ділянок, а також різний кут злому. Крім цього, такі показники неоднакові і в кожному стеблі. Вони різні для комлевої і вершинної частин.

Процес промину стебел льону необхідно проектувати так, щоб було досягнуто повну переробку, достатнє проминання всіх частин сировини. Для цього м'яльні машини необхідно обладнувати валками з різним шагом рифлення і з кромками різних видів та розміром. При цьому необхідно зумовити диференціацію процесу, поступову зміну його інтенсивності, так як оброблювальний матеріал змінює свої властивості на шляху руху в м'яльній машині – поступово змінюється його жорсткість. Рифлі валків взаємодіють зі стеблами лише в зоні промину. Число рифлів, розташованих в даному полі, збільшується при збільшенні діаметра валків, глибини заходження рифлів і зменшенні їх шагу. Чим більше дане число, тим інтенсивніше оброблюється матеріал і тим вища шкідлива розтягувальна напруженість, що виникає в ньому внаслідок тертя об кромки.

Використання більшого числа рифлів в зоні промину найбільш небезпечно при обробці стебел, які вже втратили жорсткість, але зберегли міцний зв'язок між деревиною і волокном. Тому на початку м'яльної машини, після плющильних валків, доцільно встановлювати валки з більшим шагом рифлів.

При цьому у кінці м'яльної машини, де проходить вже попередньо підготовлений матеріал, шаг рифлів доцільно зменшувати, тобто необхідно встановлювати дрібнорифленні валки.

Найбільш продуктивна робота з руйнування стебел лубоволокнистих рослин здійснюється зазвичай в перших парах валків м'яльної машини. Тому тиск в них створюється найбільшим, чим в подальших парах.

При проходженні процесу промину необхідно правильно підібрати режим м'яльної машини, оскільки він залежить від виду сировини та його стану. Особливий підхід повинен бути до легко і важко оброблювальної сировини. До важко оброблювальної сировини, для якої встановлюють найбільш жорсткий режим, відносять тресту недомочену (недолежану), тонкостебелну, з підвищеною вологістю. До легко оброблювальної, навпаки, відносять тресту перемочену, товстостебелову, добре підсушену.

При проминанні важко оброблювальної сировини на машині встановлюють більше дрібнорифлених валків (з малим шагом рифлів), підвищують тиск на валки, збільшують глибину заходження рифлів.

При проминанні легко оброблювальної трести застосовують більш м'який режим, замінюючи дрібнорифленні валки на великорифленні, знижуючи тиск і глибину заходження у всіх м'яльних парах.

М'яльна машина має м'яльні валки для згину та зламування стебел льону. Завдяки подрібненню і видаленню деревини стебел волокна оптимально підготовлюються до тіпання. Для оптимальної установки валків необхідно передбачити окреме пневматичне регулювання тиску кожного валка.

М'яльний валок є однією з головних частин устаткування м'яльного процесу лляної сировини, що виконує функцію плющення і руйнування деревини, а ефективно проминання стебел луб'яних культур – основною ціллю підготовки їх до процесу тіпання.

Під час механічної обробки лляна треста піддається плющенню та м'яттю, а потім – процесу тіпання. Всі процеси направлені на звільнення волокнистої маси від деревини та інших не волокнистих домішок при збереженості цілісності самого волокна. При таких процесах волокниста частина залишається стійкою до механічного впливу і завдяки її гнучкості відбувається зсув волокнистої частини відносно деревини. Відокремлення домішок у вигляді костриці та інших домішок проходить завдяки механічному впливу на стебло льону та різниці фізико-механічних показників складових стебла. У процесі м'яття застосовують валки з різною кількістю та формою рифлів, варіюючи тиском на шар лляної сировини, при цьому намагаються уникнути розрізання волокон у процесі проминання, тому крайки рифлів валків виконують за певним радіусом закруглення.

Під час процесів зламування деревної частини утворена костриця має гострі крайки різної хаотичної форми. Кожен такий крайок є потенційно небезпечним для волокна, адже значний тиск пари м'яльних валків передається і на кострицю з гострими крайками, яка з великим тиском діє на шар волокон. При цьому повного розрізання може не відбуватись, але навіть мікронадрізи, отримані під час проходження процесу м'яття, сприяють подальшому розриванню волокон у процесі тіпання. Тому, чим більша кількість таких костринок присутня оброблюваному шарі лляної сировини, тим більша ймовірність надрізання волокон під час проминання.

Таким чином, особливо важливо видаляти максимальну кількість костриці ще в процесі м'яття, що дозволяє зменшити ймовірність надрізання волокон крайками костриці, а завдяки більш ефективній дії плющення на очищений від костриці шар волокон – значно підвищити їх розщепленість.

За результатами експериментальних і теоретичних досліджень було спроектовано м'яльний вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату та декілька валків для промину стебел луб'яних культур [9, 10], які за рахунок конструктивних особливостей вирішують питання підвищення умов втягування стебел для промину парою валків, підвищення ефективності їх промину, забезпечують

ефективність очищення сировини та збільшення коефіцієнта зчеплення поверхні валків зі стеблами, що при цьому в цілому надає можливість підвищення ефективності роботи всього м'яльно-тіпального агрегату з переробки трести.

Ефективність досягнення поставлених завдань вирішувалася тим, що:

- вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату, що містить м'яльні гладкі, планчасті, гострогранні та круторифлені валки прямолінійного та гвинтового профілів, які змонтовані з можливістю обертання на станині м'яльної машини, вузол містить щонайменше пару плющильних валків, що являють собою пустотілий циліндр, вздовж всієї довжини якого по колу з постійним кроком виконані односторонні впадини заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню із забезпеченням рівномірного мінімально можливого зазору між профілями плющильних валків, які розташовані після пари м'яльних гладких валків перед парою рифлених м'яльних валків [11];

- що на валку м'яльної машини, що являє собою пустотілий циліндр, по твірним якого виступають рифлі крутого та пологого профілю вздовж всієї довжини на вершинах рифлів валка розміщені мікрорифлі крутого рифлення, при чому над та під парою валків розташовані тугі щітки [12].

Суттєвою відмінністю вузла очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату є те, що до його складу введено пару плющильних валків, що являють собою пустотілий циліндр, вздовж всієї довжини якого по колу з постійним кроком виконані односторонні впадини заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню із забезпеченням рівномірного мінімально можливого зазору між профілями плющильних валків. Це дозволяє забезпечити підвищення ефективності умов порушення і послаблення зв'язку між волокнистою частиною стебла і деревиною за рахунок проходження процесів поперечного здавлювання деревини стебел тих його частин, що не піддавались дії поперечного здавлювання при проходженні через пару гладких плющильних валків та забезпечення паралелізації стебел лляної трести між собою всередину втягнутого шару за рахунок проходження стебел через досить вузькі односторонні впадини заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню, а також передачу необхідного навантаження на матеріал через більшу площу контакту у порівнянні з гладкими валками, що створює умови для виникнення великої кількості осередків зусилля здвигу або дотичного напруження, що в цілому надалі підвищує ефективність промину і очищення на рифлених валках м'яльної машини.

На рис. 1 представлено вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату, а на рис. 2 схематично показано плющильний валок вузла очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату.

Вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату складається з пари м'яльних гладких валків, пари рифлених м'яльних валків крутого рифлення, які характеризуються малим радіусом закруглення кромки рифлів і відносно великою висотою рифлів порівняно з їх шагом та розміщених між ними пари плющильних валків, що являють собою пустотілий циліндр, вздовж всієї довжини якого по колу з постійним кроком виконані односторонні впадини заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню із забезпеченням рівномірного мінімально можливого зазору між плющильними валками і пари рифлених м'яльних валків пологого рифлення з більшим радіусом закруглення кромки рифлів по відношенню до радіуса закруглення кромки рифлів рифлених м'яльних валків крутого рифлення із забезпеченням рівномірного зазору між профілями кромки рифлів та впадин пари рифлених м'яльних валків пологого рифлення.

Вказаний пристрій працює таким чином, що шар стебел лляної трести, підготовлений у шароформуючій машині, подають у м'яльну частину м'яльно-тіпального агрегату, де його піддають плющенню у парі м'яльних гладких валків і подають у пару плющильних валків. Продавлені стебла лляної трести після проходження пари м'яльних гладких валків заходять в односторонні впадини пари плющильних валків, що виконані по колу з постійним кроком вздовж всієї їх довжини, заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню, за рахунок чого створюється проходження процесів поперечного здавлювання деревини стебел тих його частин, що не піддавались дії поперечного здавлювання при проходженні через пару м'яльних гладких валків. При цьому забезпечується об'ємне навантаження у замкнутому просторі, паралелізація стебел лляної трести між собою всередину втягнутого шару за рахунок проходження стебел через досить вузькі односторонні впадини пари плющильних валків, що виконані по колу з постійним кроком вздовж всієї їх довжини, заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню, а також передача необхідного навантаження на матеріал через більшу площу контакту у порівнянні з парою м'яльних гладких валків. Це створює умови для виникнення великої кількості осередків зусилля здвигу або дотичного напруження, підвищення ефективності умов порушення і послаблення зв'язку між волокнистою частиною стебла і деревиною, що в цілому надалі підвищує ефективність промину і очищення м'яльної машини. Після проходження пари плющильних валків шар стебел лляної трести з постійною швидкістю подається у пару рифлених м'яльних валків пологого рифлення.

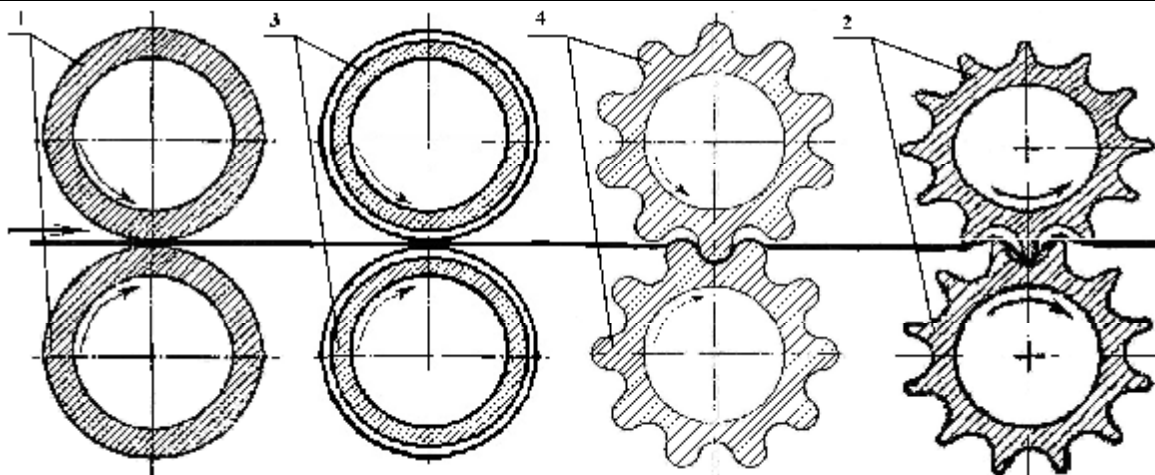


Рис. 1. Вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату:

1 – м'яльні гладкі валки; 2 – рифлені м'яльні валки крутого рифлення; 3 – плющильні валки; 4 – рифлені м'яльні валки пологого рифлення.

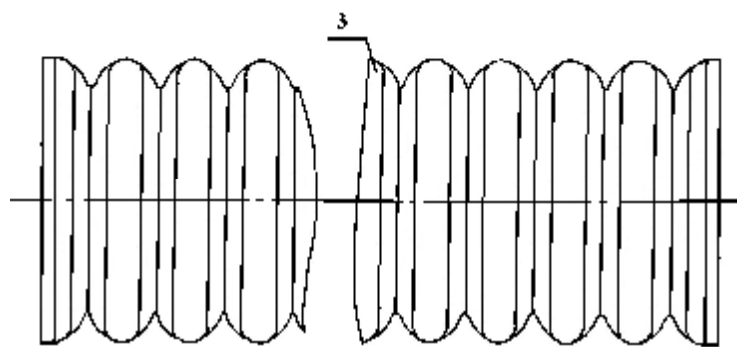


Рис. 2. Плющильний валок

Рифлі верхнього рифленого м'яльного валка пологого рифлення вдавлюють стебла лляної трести між рифлями нижнього рифленого м'яльного валка пологого рифлення, створюючи об'ємне навантаження у замкненому просторі. При цьому луб'яні волокна завдяки своїй природній гнучкості легко огинають контури рифлів рифлених м'яльних валків пологого рифлення і залишаються цілісними на всій довжині стебел. Деревна частина стебел є жорсткою і крихкою, що зумовлює виникнення великої кількості осередків руйнування деревної частини стебел та полегшує процеси згинання-зламування та відокремлення волокна від деревини за рахунок виникнення зламу на довжині менше критичної у наступних парах рифлених м'яльних валків крутого рифлення заданого профілю.

Глибина заходження рифлів рифлених м'яльних валків пологого рифлення регулюється так, щоб створювалося необхідне навантаження на сирець, без зміни швидкості його просування. Після рифлених м'яльних валків пологого рифлення шар сирцю прямує вперед до наступної пари рифлених м'яльних валків крутого рифлення з постійною швидкістю. Форма рифлів пари рифлених м'яльних валків крутого рифлення характеризується малим радіусом закруглення кромки рифлів і відносно великою висотою рифлів порівняно з їх шагом. Така пара рифлених м'яльних валків крутого рифлення виконує технологічні операції згинання-зламування, ковзного згину та відокремлення волокна від деревини, при цьому обробці піддається вже пром'ятий сирець з послабленим зв'язком костри і волокна.

Заявлений вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату дозволяє забезпечити паралелізацію стебел шару лляної трести, сприяти підвищенню ефективності промину, очищення сирцю та відокремлення волокна від деревини, що обумовлює можливість його промислового застосування.

Враховуючи переваги наведеного вузла очищення сирцю з лляної трести залежно від типу і фізико-механічних показників якості сировини у складі м'яльно-тіпального агрегату може бути встановлено одна або декілька пар зазначених валків для ефективного промину і очищення сирцю з лляної трести.

Крім представленого вузла очищення сирцю з лляної трести було спроектовано валок м'яльної машини, суттєвою відмінністю конструктивного виконання якого є те, що до складу валка введено мікрорифлі, що розміщуються на вершинах рифлів валка вздовж всієї його довжини замість полірованої поверхні вершин. Застосування мікрорифлів на вершинах рифлів валків дозволяє забезпечити підвищення ефективності втягування стебел луб'яних культур, збільшити коефіцієнт зчеплення поверхні валка зі стеблами луб'яних культур, підвищити ефективність їх промину та відокремлення волокна від деревини за рахунок одночасного проходження процесів поперечного здавлювання, згинання-зламування деревини стебел, ковзного згину та зсуву костри відносно волокна, що підвищує ефективність очищення. При цьому використання тугих щіток, що розташовані над і під парою валків, дозволяє забезпечити очищення мікрорифлів від можливого забивання деревними частками та брудом.

На рис. 3 схематично представлено взаємодію зв'язаної пари таких валків м'яльної машини для промину стебел луб'яних культур. Валок м'яльної машини складається з пустотілого циліндра, по твірним якого виступають рифлі крутого або пологого профілю. Вдовж всієї довжини на вершинах рифлів валка розміщуються мікрорифлі крутого рифлення в збільшеній проекції конструктивного виконання вершин рифлів валка м'яльної машини (рис. 4), при цьому над та під парою валків розміщуються тугі щітки.

Для промину стебел луб'яних культур з валка запропонованої конструкції збирається пара валків, що зв'язана між собою кінематично та здійснює обертання від привода.

При цьому рифлі одного з валків пари знаходяться між рифлями іншого із заходженням, тобто між центрами валів відстань менша, ніж діаметр D_v валка. Стебла лляної трести формуються в шар при його товщині 2-4 стебла, при цьому стебла в шарі розташовуються під кутом 45 градусів до них. Після підведення стебел до валків, що обертаються, стебла захоплюються рифлями валків і втягуються в зону взаємодії зв'язаної пари валків для промину стебел луб'яних культур. При цьому забезпечується втягування стебел, оскільки виконуються умови фрикційної взаємодії, а саме $\tan \beta < K$, де β – це кут між дотичною до точки зіткнення стебел з поверхнею валків і напрямом руху стебел; K – коефіцієнт тертя поверхні валка об стебла.

У результаті цього, враховуючи наявність взаємозв'язку стебел один з одним, шар стебел захоплюється валками і ефективно проминається за рахунок наявності мікрорифлів на вершинах рифлів валків, які підвищують умови фрикційної взаємодії.

Наявність мікрорифлів на вершинах рифлів валків дозволяє забезпечити необхідне навантаження на сировину та швидкість її переміщення, створює умови для одночасного поперечного здавлювання, згинання-зламування деревини стебел, виникнення додаткової кількості осередків руйнування деревної частини стебел, що полегшує процеси згинання-зламування і відокремлення волокна від деревини, ковзного згину та зсуву костри відносно волокна. Мікрорифлі виконані як мікрорифлі крутого рифлення на вершинах рифлів валків. Тугі щітки, які розташовані над і під парою валків, проводять очищення мікрорифлів від можливого забивання деревними частками та брудом.

Результати експериментальних і теоретичних досліджень вказують на те, що застосування наведеної конструкції валка може дозволити забезпечити підвищення ефективності втягування стебел луб'яних культур, підвищити ефективність їх промину та відокремлення волокна від деревини, що обумовлює можливість його широкого промислового використання.

Запропоновані конструктивні виконання поставлених завдань покращують обробку стебел луб'яних культур і покращують очищення волокнистої маси від деревини та не волокнистих домішок.

Отримане волокно від використання запропонованих конструкційних змін може розширити асортимент товарів на його основі і використовуватися в різних сферах застосування побутового та технічного, медичного та гігієнічного, будівельного та захисного текстилю, текстилю для захисту довкілля, а також текстилю для спорту, туризму та відпочинку, для оздоблення інтер'єру та підвищення комфорту в місцях проживання та праці людей. Збільшення обсягів виробництва такого натурального волокна та розширення сфери його застосування дозволить надати поштовху подальшому розвитку вітчизняного ринку екотекстилю та популяризації екологічно чистої безпечної продукції в Україні та відігравати особливу роль у процесі формування сегменту вітчизняного ринку екологічно безпечних текстильних матеріалів і виробів різного призначення.



Рис. 4. Збільшена проекція конструктивного виконання вершин рифлів валка м'яльної машини

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших наукових пошуків у цьому напрямі. Зважаючи на вищезазначене, можна із впевненістю стверджувати, що на вирішення проблем розвитку переробної галузі луб'яних культур та вітчизняної легкої промисловості є розв'язання проблеми підвищення

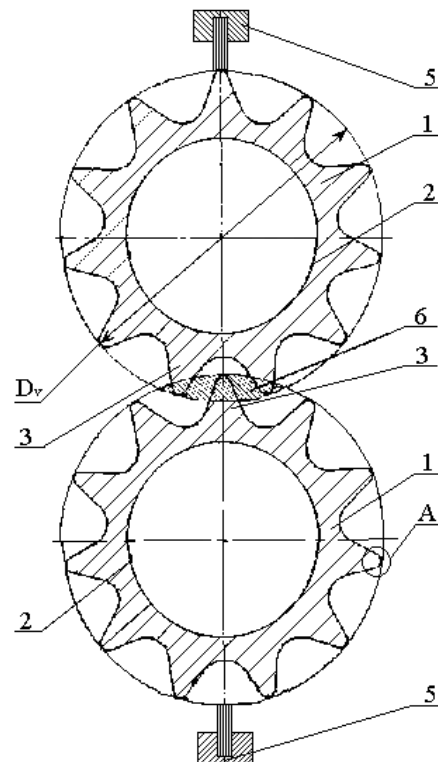


Рис. 3. Взаємодія зв'язаної пари валків м'яльної машини: 1 – валок м'яльної машини; 2 – пустотілий циліндр; 3 – рифлі крутого та пологого профілю; 4 – мікрорифлі крутого рифлення; 5 – тугі щітки; 6 – зона взаємодії зв'язаної пари валків

якості і кількості сировини, застосування сучасних розробок сучасної техніки і технологій, застосування інноваційних технологій переробки, нових технічних рішень та оригінальних прийомів обробки новими пристроями.

Отже, запропоновані конструктивні виконання валка м'яльної машини і вузла очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату в разі їх широкого застосування в промислових умовах можуть не лише позитивно вплинути на отримання якісного луб'яного волокна, а й привести до одержання соціально-економічного позитивного ефекту вітчизняним лляним виробництвом.

Перспективним напрямком у цьому плані являється застосування запропонованих конструктивних виконань валка м'яльної машини і вузла очищення сирцю з лляної трести, оскільки використання запропонованих конструкцій дозволить забезпечити підвищення ефективності втягування стебел луб'яних культур, підвищити ефективність їх промину та відокремлення волокна від деревини, сприятиме підвищенню ефективності очищення сирцю, що обумовлює можливість їх широкого використання в промисловості.

Література

1. Евдокимова Ж. В., Вотчининова С. Н. Волшебник синий лен [Електронний ресурс] / Ж. В. Евдокимова, С. Н. Вотчининова // ООО «РЭА центр «Перспектива». – 07.12.2001. – Режим доступа : <http://www.rea-centre.narod.ru/analiz/lien-st-02.htm>.
2. Макаренко П. М. Ринкова трансформація аграрного сектора: теорія і практика : [монографія] / П. М. Макаренко, А. Д. Топалов. – Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2006. – 373 с.
3. Поважный А. С. Государственная поддержка развития аграрного сектора экономики: опыт и современные тенденции / А. С. Поважный, Л. О. Батченко, Ю. В. Дятлова // Збірник наукових праць Донецького державного університету управління: «Державне управління економічного розвитку регіону та підприємств». – Серія «Державне управління». – Донецьк, 2004. – Т. V. – Вип. 38. – С. 40–46.
4. Живетин В. В. Масличный лен и его комплексное развитие / В. В. Живетин, Л. Н. Гинзбург. – М. : ЦНИИЛКА. 2000. – 389 с.
5. Федосова Н. М. Исследование свойств льна-межеумка и обоснование метода прогнозирования его технологической ценности : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.01 / Федосова Наталья Михайловна. – Кострома : КГТУ, 2002. – 188 с.
6. Березовський Ю. В. Оцінка передумов розвитку ринку товарів з льону в Україні / Ю. В. Березовський // Товарознавчий вісник : збірник наукових праць. – Луцьк : ЛНТУ, 2014. – Випуск 7. – С. 19–27.
7. Калінський Є. О. Удосконалення та автоматизація процесів визначення якісних показників лляного волокна / Є. О. Калінський // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон : ХНТУ, 2014. – № 4 (51). – С. 85–90.
8. Пашин Е. Л. Технологическое качество и переработка льна-межеумка : [монографія] / Е. Л. Пашин, Н. М. Федосова. – Кострома : ВНИИЛК, 2003. – 88 с.
9. Федосова Н. М. Анатомическое строение масличного льна / Н. М. Федосова, А. С. Пешкова // Достижения науки и техники АПК. – 2005. – № 10. – С. 17–18.
10. Смирнова В. А. Исследование декортикационной способности соломы масличного льна / В. А. Смирнова, Н. М. Федосова, Д. С. Рысаков // Научные труды молодых ученых КГТУ : в 2 ч. Ч. 1. – Кострома : КГТУ, 2007. – С. 54–58.
11. Пат. 97290 Україна, МПК D01B 1/06. Вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату / Березовський Ю. В. ; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № U 2014 09174 ; заяв. 15.08.2014 ; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5.
12. Пат. 85880 Україна, МПК D01C1/00. Валок м'яльної машини / Березовський Ю. В. ; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № U 2013 04383 ; заяв. 08.04.2013 ; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23.

Рецензія/Peer review : 1.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Валько М.І.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ПРОЦЕСУ ТИТАНОВОГО ДУБЛЕННЯ В ПРИСУТНОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ СПОЛУКИ НА ОСНОВІ МАЛЕЇНОВОЇ КИСЛОТИ

Наведено результати повного факторного експерименту процесу титанового дублення в присутності полімерної сполуки на основі малеїнової кислоти. Одержано адекватну математичну модель, що описує вплив умов обробки на показники напівфабрикату овчини. За допомогою комп'ютерного моделювання визначено оптимальні параметри, які забезпечують скорочення процесу дублення, підвищення вибирання дубителя з розчину, покращення властивостей напівфабрикату.

Ключові слова: титанове дублення, полімерна сполука, шкіряний напівфабрикат, модель, параметри

A.V. NIKONOVA, O.A. ANDREYEVA, L.A. MAISTRENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

DETERMINATION OF THE OPTIMAL PARAMETERS OF TITANIUM TANNING PROCESS USING POLYMERIC COMPOUND BASED ON A MALEIC ACID

The results of the full factorial experiment to description of the titanium tanning process using polymeric compound based on maleic acid were described. It was obtained adequate mathematical model that describes the dependence of influence of processing conditions on induces of semi-finished after tanning obtained from sheepskin. The rational conditions of tanning using computer modelling were determined. It is that provides the reduce cycle times; improve the exhaustion of tanning agent and properties of semi-finished leather.

Keywords: titanium tanning, polymeric compound, semi-finished leather, model, parameters.

Вступ

В умовах сьогодення до виробів з натуральної шкіри висуваються жорсткі вимоги не лише в ракурсі їх експлуатаційних, естетичних та гігієнічних властивостей. Під час вибору одягу, взуття або галантерейних виробів споживач оцінює безпечність застосованих матеріалів, які під час експлуатації будуть впливати на людину. Традиційно дублення вважається одним з найважливіших процесів шкіряного виробництва, що докорінно змінює властивості дерми, перетворюючи її на шкіру [1]. Донині найпоширенішим є дублення сполуками тривалентного хрому. Однак, використання хромового дубителя намагаються обмежити або взагалі виключити з технологічного циклу, що, пояснюється, насамперед, нестабільністю цих сполук та окисненням до біотоксичних сполук шестивалентного хрому [2]. Продукти окиснення є канцерогенами, провокують подразнення дихальних шляхів та виникнення алергічних реакцій, що, в свою чергу, негативно позначається на здоров'ї людини. Застосування сучасних хромощадних технологій не вирішує вказані проблеми – сполуки хрому все одно залишаються у шкіряних виробах [3, 4].

У зв'язку з цим більшість наукових розробок присвячені можливості використання альтернативних способів дублення та хімічних матеріалів, які є більш екологічно безпечними для людини і навколишнього середовища і дозволяють не тільки частково, а й повністю замінити дубильні сполуки хрому [5, 6].

Однією з альтернатив хромового дублення шкір є дублення сполуками титану, яке дозволяє усунути певні недоліки дубильних сполук хрому. На практиці титанове дублення знайшло застосування в комбінуванні з іншими дубителями органічного та мінерального походження для виробництва певного асортименту шкір, головним чином, підошовних і лимарно-сідельних [7–10]. Перспектива застосування сполук титану для дублення шкір більш широкого асортименту зазначена в обмеженій кількості робіт [11–14]. Тому подальше удосконалення та розробка ресурсощадних технологій із застосування сполук титану є актуальним і повинно ґрунтуватись на об'єктивному регулюванні технологічних параметрів дублення шляхом використання сучасних доступних, нетоксичних хімічних матеріалів, здатних прискорювати дифузійну складову процесу та забезпечувати максимальну фіксацію дубителів дермою для отримання якісних шкір сучасного асортименту. Прикладом таких матеріалів можуть бути водорозчинні полімерні сполуки на основі малеїнової та акрилової кислот, що чудово суміщаються з колагеном й іншими застосованими хімічними реагентами під час дублення сполуками хрому [15–17].

У попередній роботі авторами досліджено процес безпикельного титанового дублення овчини в присутності цих полімерних сполук [18]. Встановлено доцільність застосування полімалеїнату перед дубленням зі зливом відпрацьованого полімерного розчину, що підтверджено скороченням тривалості процесу при достатньо високих показниках гідротермічної стійкості та формування об'єму, покращанні органолептичної оцінки напівфабрикату «Вет-вайт». Разом з тим, в умовах експерименту змінювали лише вид полімеру та послідовність його введення, ось чому метою даної роботи було визначити оптимальні умови титанового дублення в присутності полімерної сполуки на основі малеїнової кислоти. Для здійснення мети поставлено завдання визначити вплив умов обробки на перебіг технологічного процесу та властивості напівфабрикату «Вет-вайт», встановити раціональні параметри процесу дублення.

Об'єкти та методи дослідження

За об'єкт дослідження обрано процес титанового дублення шкіри в присутності полімерної сполуки

на основі малеїнової кислоти, предмет – встановлення закономірностей даного процесу в результаті заміни пікелювання полімерною обробкою голини і використання альтернативного мінерального дубителя – сульфатотитанілату амонію.

У роботі використали м'якшену голину овчини, отриману за технологією виробництва одягової хромової шкіри з цього виду сировини [19]. Вибір овчої сировини зумовлений її поширеністю в Україні, а також пухкою структурою дерми, що полегшує виявлення ефектів її формування та наповнення [20].

Зразки овчини обробляли шляхом заміни традиційної пікельної підготовки перед дубленням на полімерну обробку. У якості полімерної сполуки використано похідну малеїнової кислоти (продукт Kro), активністю 21,5 %, що є нетоксичним, водорозчинним, стійким до дії електролітів реагентом [16].

Групи зразків голини комплектували за методом асиметричної бахроми по три зразки у кожній групі. Після полімерної обробки дослідних груп 1–8 відпрацьований розчин зливали, а процес дублення виконували у новому розчині з попередньою обробкою голини сумішшю хлориду та сульфату натрію у кількості 5,0 % протягом 15 хв для попередження кислотної бубняви. Витрата продукту Kro становила 1,0–3,0 %, температура 36–38 °С, тривалість 1–2 год, рідинний коефіцієнт 1,0.

Процес дублення проводили сульфатотитанілатом амонію (СТА) основністю 40,4 % та активністю 22,4 % у перерахунку на оксид титану. Дубитель дозували у сольовий розчин при витраті 3,0–5,0 % (у перерахунку на оксид титану) і температурі 36–38 °С. Для підвищення фіксації дубителя при повному профарбуванні зрізу напівфабрикату сполуками титану (визначали за жовтим забарвленням пероксидом водню) додавали розведену у воді (1:20) суміш карбонату натрію та уротропіну у кількості 3,5 %. Витрату хімічних матеріалів розраховували від вихідної маси зразків. У всіх випадках закінчення процесу дублення визначали за стабільним значенням температури зварювання.

Дослідження виконували в лабораторних умовах в скляних ємностях об'ємом 1 л на установці для збовтування, завдяки чому забезпечувалися необхідний температурний режим та постійне перемішування (частота обертання 8–10 хв⁻¹). Під час обробки дослідних груп ускладнень не виявлено, а зразки напівфабрикату «Вет-вайт» були наповненими, м'якими, з чистою шовковистою лицьовою поверхнею.

Для отримання об'єктивних результатів дослідження використано традиційні фізико-хімічні та сучасні методи аналізу, у тому числі статистичний та комп'ютерне моделювання [21–25]. Ступінь відпрацювання робочих розчинів визначали фотоколориметричним методом. Враховуючи, що інтенсивність проникнення та міцність фіксації дубильних речовин в дермі обумовлені взаємозв'язаними чинниками (вид та витрата застосовуваних матеріалів, тривалість обробки тощо), для визначення параметрів процесу безпикельного титанового дублення застосували метод повного факторного експерименту (ПФЕ) типу 2³, що дозволило мінімально обмежити кількість дослідів, побудувати математичну модель процесу, обрати більш оптимальний варіант [23, 26]. Похибка експерименту склала менше 3,0 %.

Після серії попередніх дослідів визначили найбільш важливі фактори: X_1 – витрата полімеру, %; X_2 – витрата титанового дубителя, %; X_3 – тривалість обробки полімером, год, а також їх рівні та інтервал варіювання (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні та інтервал варіювання факторів			
Найменування фактору	Витрата, %		Тривалість, год.
	Kro	СТА	
Кодоване позначення	X_1	X_2	X_3
Нульовий рівень x_{i0}	2,0	4,0	0,5
Інтервал варіювання Δx_i	1,0	1,0	0,5
Нижній рівень $x_{i\min}$	1,0	3,0	1,0
Верхній рівень $x_{i\max}$	3,0	5,0	2,0

Таблиця 2

Значення факторів і параметри оптимізації												
№	Значення факторів			Значення вихідної змінної (функції відгуку)								
				ОТ, %			$T_{зв}$, °С			VR, см ³ /100 г білка		
	X_1	X_2	X_3	Y_{1u}^1	Y_{2u}^1	Y_u^1	Y_{1u}^2	Y_{2u}^2	Y_u^2	Y_{1u}^3	Y_{2u}^3	Y_u^3
1	+1	+1	+1	12,1	12,2	12,2	88,0	89,0	88,5	143,9	145,8	144,9
2	-1	+1	+1	12,9	12,8	12,9	90,0	90,0	90,0	135,0	136,2	135,6
3	+1	-1	+1	12,1	11,9	12,0	88,0	87,0	87,0	123,2	118,7	121,0
4	-1	-1	+1	11,7	11,6	11,7	89,0	89,0	89,0	143,8	143,6	143,7
5	+1	+1	-1	12,7	12,9	12,8	90,0	90,0	90,0	120,7	119,5	120,1
6	-1	+1	-1	12,5	12,9	12,7	90,0	89,0	89,5	134,5	135,2	134,9
7	+1	-1	-1	10,9	10,6	10,8	83,0	85,0	84,0	141,9	145,2	143,6
8	-1	-1	-1	10,7	10,9	10,8	86,0	88,0	87,0	122,5	124,2	123,4

За вихідні змінні (функції відгуку) обрали показники шкіряного напівфабрикату, які дають достатньо повне уявлення про ефективність процесу дублення: масову частку оксиду титану (OT), температуру зварювання ($T_{зв}$) та об'ємний вихід (VR). Матриця планування та параметри оптимізації наведені у табл. 2.

Для розрахунку та побудови оптимальної області процесу безпикельного титанового дублення використали комп'ютерне моделювання за допомогою програми *MathCAD 15 Portable* [27].

Результати дослідження, їх обговорення

Після обробки результатів експерименту отримали адекватні математичні моделі рівнянь регресії (1–3) в кодованих одиницях, які описують залежності найбільш вагомих показників напівфабрикату від витрати основних матеріалів і тривалості полімерної обробки:

а) *масова частка оксиду титану:*

$$Y_u^1 = 11,99 + 0,66 X_2 + 0,21 X_3 - 0,11 X_1 X_2 - 0,31 X_2 X_3 - 0,14 X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

Критерій Фішера $F = 1,77 < F_{табл} = 3,58$ (рівень значущості $\alpha = 0,05$; число ступенів свободи у знаменнику $f_1 = 2$; число ступенів свободи у чисельнику $f_2 = 2$), рівняння адекватне; критерій Кохрена $G = 0,40 < G_{табл} = 0,68$ (рівень значущості $\alpha = 0,05$; число ступенів свободи $f_1 = m - 1 = 1$; число ступенів свободи $f_2 = N = 8$), дисперсія відтворювана, похибка досліду $S_{20} = S_{2u} = 0,025$; значущість коефіцієнтів регресії (критерій Стюдента): $t_{табл} = 2,31$, тоді $t_{b0} = 11,99 > t_{табл}$, значущий; $t_{b1} = 0,95 < t_{табл}$, незначущий; $t_{b2} = 16,76 > t_{табл}$, значущий; $t_{b3} = 5,38 > t_{табл}$, значущий; $t_{b12} = 2,85 > t_{табл}$, незначущий; $t_{b13} = 1,58 < t_{табл}$, незначущий; $t_{b23} = 7,91 > t_{табл}$, значущий; $t_{b123} = 4,38 > t_{табл}$, значущий.

б) *температура зварювання:*

$$Y_u^2 = 88,06 - 0,56 X_1 + 1,19 X_2 + 0,69 X_3 + 0,56 X_1 X_2 - 0,69 X_2 X_3 - 0,56 X_1 X_2 X_3 \quad (2)$$

Критерій Фішера $F = 0,41 < F_{табл} = 3,5$ (рівень значущості $\alpha = 0,05$; число ступенів свободи у знаменнику $f_1 = 2$; число ступенів свободи у чисельнику $f_2 = 1$), рівняння адекватне; критерій Кохрена $G = 0,36 < G_{табл} = 0,68$ (рівень значущості $\alpha = 0,05$; число ступенів свободи $f_1 = m - 1 = 1$; число ступенів свободи $f_2 = N = 8$), дисперсія відтворювана, похибка досліду $S_{20} = S_{2u} = 0,688$; значущість коефіцієнтів регресії (критерій Стюдента): $t_{табл} = 2,31$, тоді $t_{b0} = 42,83 > t_{табл}$, значущий; $t_{b1} = 2,71 > t_{табл}$, значущий; $t_{b2} = 5,73 > t_{табл}$, значущий; $t_{b3} = 3,32 > t_{табл}$, значущий; $t_{b12} = 2,71 > t_{табл}$, значущий; $t_{b13} = 0,90 < t_{табл}$, незначущий; $t_{b23} = 3,32 > t_{табл}$, значущий; $t_{b123} = 2,71 > t_{табл}$, значущий.

в) *об'ємний вихід:*

$$Y_u^3 = 133,37 - 1,01 X_1 + 2,91 X_3 - 2,37 X_1 X_3 + 3,47 X_2 X_3 + 1,37 X_1 X_2 X_3 \quad (3)$$

Критерій Фішера $F = 0,41 < F_{табл} = 3,58$ (рівень значущості $\alpha = 0,05$; число ступенів свободи у знаменнику $f_1 = 2$; число ступенів свободи у чисельнику $f_2 = 2$), рівняння адекватне; критерій Кохрена $G = 0,49 < G_{табл} = 0,68$ (рівень значущості $\alpha = 0,05$; число ступенів свободи $f_1 = m - 1 = 1$; число ступенів свободи $f_2 = N = 8$), дисперсія відтворювана, похибка досліду $S_{20} = S_{2u} = 2,57$; значущість коефіцієнтів регресії (критерій Стюдента): $t_{табл} = 2,31$, тоді $t_{b0} = 333,06 > t_{табл}$, значущий; $t_{b1} = 2,51 > t_{табл}$, значущий; $t_{b2} = 1,20 < t_{табл}$, незначущий; $t_{b3} = 7,26 > t_{табл}$, значущий; $t_{b12} = 0,92 < t_{табл}$, незначущий; $t_{b13} = 5,92 > t_{табл}$, значущий; $t_{b23} = 8,37 > t_{табл}$, значущий; $t_{b123} = 20,90 > t_{табл}$, значущий.

З одержаних рівнянь регресії випливає, що для вмісту оксиду титану і термостійкості найбільш вагомим з окремих факторів є витрата титанового дубителя, з підвищенням якої дані показники зростають. Позитивно впливає на ці показники і тривалість полімерної обробки. На об'ємний вихід впливає витрата полімеру, підвищення якої небажане. У той же час, позитивним для формування структури дерми виявився сумісний вплив всіх трьох факторів.

З метою більш детального визначення умов безпикельного титанового дублення додатково проаналізували кількісні показники, які мають не менш важливе практичне значення, ніж наведені вище: тривалість процесу, ступінь вибирання з робочих розчинів реагентів, кількість утворених термостійких зв'язків у 10^5 г білка, вихід по товщині (табл. 3–4). Для порівняння врахували показники напівфабрикату контрольної групи 9к, дублення якої проводили при температурі 20 °С сполуками титану (витрата 5,0 % на оксид) після 1,5-годинного пікелювання шляхом додавання хлориду натрію (для попередження бубняви, зневоднювання) та сірчаної кислоти (для надання кислотності, часткового розпушення дерми) [28].

Найкращий ступінь вибирання дубильного розчину (81,8–83,2 %) має місце при більш тривалій полімерній обробці (2,0 год) і меншій витраті полімеру (1,0 %), незалежно від витрати титанового дубителя. Високий (на рівні 81,0 %) ступінь відпрацювання зберігається за умови менш тривалої полімерної обробки (1,0 год), низької витрати полімеру (1,0 %) та високої витрати дубителя (5,0 %). На 10,7–11,4 % ступінь відпрацювання розчину зменшується при низьких витратах обох реагентів, незалежно від тривалості

полімерної підготовки, або при високих витратах полімеру і дубителя та менш тривалій полімерній обробці. Найменше вибирання дубителя з розчину (68,5 %) спостерігається у разі тривалої обробки полімером і підвищених витратах реагентів.

Таблиця 3

Характеристика процесу обробки напівфабрикату полімером і титановим дубителем

Група	Витрата, %		Тривалість, год		Ступінь вибирання, %	
	Кро	СТА	полімерна обробка	дублення	Кро	СТА
1	3,0	5,0	2,0	6,0	76,6	68,5
2	1,0	5,0	2,0	6,5	78,7	81,8
3	3,0	3,0	2,0	6,0	77,9	76,9
4	1,0	3,0	2,0	6,0	77,7	83,2
5	3,0	5,0	1,0	7,0	78,0	71,3
6	1,0	5,0	1,0	6,0	75,1	81,0
7	3,0	3,0	1,0	6,5	76,0	72,5
8	1,0	3,0	1,0	6,0	75,4	71,1
9к	–	5,0	–	9,0	–	56,7

Заміна пікелювання полімерною обробкою призводить до покращення всіх показників: вибирання сполук титану з розчину на 14,4–26,5 %, кількості утворюваних термостійких зв'язків на 18,0–43,6 %, виходу напівфабрикату по товщині та об'єму в 1,1–1,3 рази; тривалість процесу дублення скорочується в 1,3–1,5 разу.

Таблиця 4

Показники шкіряного напівфабрикату

Група	ОТ, %	$\Delta T_{365}, ^\circ\text{C}$		К-ть термостійких зв'язків	Δ Товщини, %		VR, $\text{cm}^3/100 \text{ г}$
		полімерна обробка	дублення		полімерна полімерна	дублення	
1	12,2	6,0	32,5	16,1	36,8	125,8	144,9
2	12,9	2,0	34,0	16,8	27,7	111,5	135,6
3	12,0	5,0	31,0	15,3	38,7	122,5	121,0
4	11,7	3,0	33,0	16,3	31,7	113,8	134,9
5	12,8	7,5	34,0	16,8	36,8	115,1	120,1
6	12,7	3,0	33,5	16,6	25,4	101,5	143,7
7	10,8	2,0	28,0	13,8	35,5	114,2	143,6
8	10,8	5,0	31,0	15,3	23,8	100,8	123,4
9к	9,6	–	26,0	11,7	–	94,4	118,9

Враховуючи те, що досліджуваний процес описується декількома рівняннями регресії (важливими є декілька вихідних змінних), необхідно було вирішити компромісне завдання: визначити екстремальне значення однієї функції відгуку, що накладається на інші функції відгуку в межах областей дослідження, при яких оптимум параметрів буде відносно оптимальним [25–26]. Результати розрахунку та побудови оптимальної області безпикельного титанового дублення наведено на рис.

Для визначення найбільш раціональних параметрів безпикельного титанового дублення з використанням полімалеїнату розраховували відносні оптимальні значення показників напівфабрикату овчини у кодованих одиницях $X_1 = -0,8$, $X_2 = -0,2$, $X_3 = +0,4$, яким відповідають такі функції відгуку як масова частка оксиду титану $Y_u^1 = 11,9$ %, температура зварювання $Y_u^2 = 88,6$ °C, об'ємний вихід $Y_u^3 = 135,9$ $\text{cm}^3/100$ г. Таким чином оптимальним параметрам обробки відповідають витрата полімеру $x_1 = 1,1$ %, витрата титанового дубителя $x_2 = 3,8$ %, тривалість полімерної обробки $x_3 = 1,4$ год.

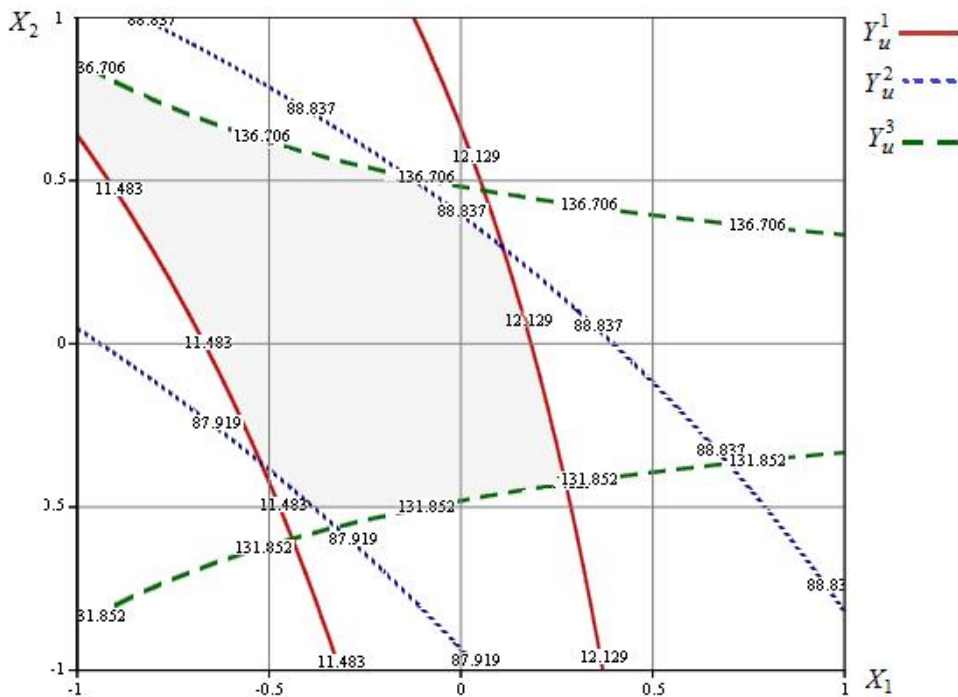


Рис. 1. Діаграма оптимальної області безпідельного титанового дублення в кодованих одиницях

Висновки

З метою створення ресурсоощадної технології виробництва одягової шкіри з овчини шляхом заміни пікелювання полімерною обробкою, а хромового дубителя – сполуками титану, розроблено математичну модель процесу дублення, яка адекватно описує залежності показників шкіряного напівфабрикату від таких чинників як тривалість полімерної обробки, витрата полімеру і дубителя. У якості полімеру використали похідну малеїнової кислоти, сполук титану – сульфатотитанілат амонію.

За допомогою комп'ютерного моделювання встановлено оптимальні параметри процесу дублення: тривалість полімерної обробки – 1,4 год, витрата полімеру – 1,1 %, титанового дубителя – 3,8 %.

Експериментально встановлено, що в результаті проведення безпідельного титанового дублення в присутності полімалеїнату має місце покращення дифузії та фіксації титанового дубителя в дермі, що, в свою чергу, зумовлює скорочення процесу в 1,3–1,5 рази, збільшення вибирання дубителя з розчину на 14,4–26,5 %, і такі позитивні зміни структури та властивостей напівфабрикату «Вет-вайт» як збільшення виходу товщини та об'єму в 1,1–1,3 разу, кількості термостійких зв'язків на 18,0–43,6 %.

У подальшому планується дослідження споживчих властивостей овечої одягової шкіри розробленого безпідельного титанового дублення.

Література

1. Михайлов А. Н. Химия дубящих вещества и процессов дубления / Михайлов А. Н. – М. : Гизлегпром, 1953. – 794 с.
2. Sathiyamoorthy M. Preparation of Eco-Friendly Leather by Process Modifications to Make Pollution Free Tanneries / M. Sathiyamoorthy, V. Selvi, D. Mekonnen, S. Habtamu // JEC&AS. – 2013. – Vol. 2, No 5. – P. 17–22.
3. Суркова А. В. Аспекты экологических проблем хромового дубления / А. В. Суркова, И. Ш. Абдуллин, Б. Л. Журавлев, Ю. С. Парсанов // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – № 6. – С. 91–93.
4. The process of waste incineration in the tanning industry / K. Wiczorek–Ciurawa, S. Famielec, K. Fela, Z. Woźny // CHEMIK. – 2011. – Vol. 65, No 10. – P. 917–922.
5. Future Trends in the World Leather. Leather Products Industry and Trade. – Vienna : UNIDO, 2010. – 120 p.
6. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів / Данилкович А. Г., Грищенко І. М., Лішук В.І. та ін. ; за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2012. – 344 с.
7. Метелкин А. И. Титановое дубление / А. И. Метелкин, Н. Т. Русакова. – М. : Легк. индустрия, 1980. – 152 с.
8. А. с. 14443448 A1 SU, С 14 С 1/08, 3/04. Способ обработки голя / Н. С. Козырева, В. А. Рогожина, О. И. Вострухина. – № 4232588/12 ; заявл. 21.04.87 ; опубл. 15.12.88, Бюл. № 46.
9. Бейсеуов К. Б. Новое в минеральном дублении кож / Бейсеуов К. Б. – М. : Легпромышленность. – 1993. – 128 с.
10. Кучеренко А. А. Возможность применения бикарбоната натрия для нейтрализации при

- титановом дубленні / А. А. Кучеренко // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1981. – № 8. – С. 46.
11. New tanning agents based on titanium and zirconium / V. Deselnicu et al. // Bulletin of scientific information. – 2010. – No 20. – P. 6–12.
12. Альтернативный метод дубления кож для верха обуви / Н. В. Кленовская и др. // Кожевенно-обувная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 28–31.
13. Пат. 21584 А4 KZ, С 14 С 3/00, 3/06. Способ дубления перчаточной-галантерейной кожи / У. К. Мадиев, М. И. Евтюшкина, А. К. Кудабая. – № 18074 ; заявл. 24.12.07 ; опубл. 14.08.09, Бюл. № 8.
14. Nikonova A., Andreyeva O. The perspective of using titanium compounds in leather and fur production / VI Ukrainian-Polish Scientific dialogues, 21 October 2015, Khmelnytsky-Yaremche. – KhNU, 2015. – P. 93-94.
15. Панкова Е. А. Интенсификация процесса хромового дубления с использованием циклических карбонатов и продуктов на их основе : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.19.05 «Технология кожи и меха» / Е. А. Панкова. – Казань, 2004. – 20 с.
16. Майстренко Л. А. Дослідження процесу хромового дублення із застосуванням полімерного матеріалу – похідної малеїнової кислоти / Л. А. Майстренко, О. А. Андреева, М. К. Коляда // Технології та дизайн. – 2013. – № 4(9). – 11 с.
17. Maistrenko L. A., Andreyeva O. A. Developing of resource-saving technology of chrome tannage for garment sheep leather / Materials of the III International research and practice conference Science, Technology and Higher Education, 2013, Canada. – Westwood, 2013. – Vol. 2. – P. 454–456.
18. Ніконова А. В. Дослідження процесу дублення сполуками титану в присутності полімерів / А. В. Ніконова, О. А. Андреева, Л. А. Майстренко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 4(227) – С. 93–97.
19. Данилкович А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри : [навч. посібник] / А. Г. Данилкович, О. Р. Мокроусова, О. А. Охмат ; під ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2009. – 580 с.
20. Товарознавство шкіряно-хутрової сировини : [навч. посібник] / О. А. Андреева, Г. В. Цеменко. – К. : Кондор, 2011. – 355 с.
21. Головтеева А. А. Лабораторный практикум по курсу химии и технологии кожи и меха / А. А. Головтеева, Д. А. Куциди, Л. Б. Санкин. – М. : Легкая индустрия, 1971. – 288 с.
22. Жебентяев А. И. Аналитическая химия. Химические методы анализа : [учеб. пособие] / А. И. Жебентяев, А. К. Жерносек, И. Е. Талуть. – Минск : Новое знание, 2010. – 542 с.
23. Основи створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра : монографія / А. А. Горбачов, С. М. Кернер, О. А. Андреева, О. Д. Орлова. – К. : КНУТД, 2007. – 190 с.
24. Пінчук С. І. Організація експерименту та оптимізація технологічних систем / Пінчук С. І. – К. : Діва, 2008. – 324 с.
25. Радченко С. Г. Математичне моделювання та оптимізація технологічних систем / С. Г. Радченко. – К. : Політехніка, 2002. – 88 с.
26. Тогузбаев К. У. Эффективное использование отработанных растворов при комплексном минеральном дублении (КМД) / К. У. Тогузбаев // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. – 2010. – № 4. – С. 348–350.
27. Maxfield B. Essential MathCAD for Engineering Science and Math. – Academic Press, 2009. – 528 p.
28. Справочник кожевника (технология) / Н. А. Балберова, А. Н. Михайлов, Е. И. Шуленкова, В. А. Кутгин ; под. общ. ред. Н. А. Балберовой. – М. : Легпромышленность, 1986. – 256 с.

Рецензія/Peer review : 23.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: проф. О. Р. Мокроусова

АНАЛІЗ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВОЛОГИ В МАТЕРІАЛІ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Запропоновані дискретні методи моделювання проходження вологи крізь матеріали. Матеріал представлений у вигляді системи пор і зв'язків між ними з визначеними дискретними характеристиками. Визначені дискретні залежності границі змоченої зони по товщині матеріалу і часу. На основі регресійного аналізу одержані континуальні залежності, що дозволяють визначити змочену поверхню в будь-який момент часу.

Ключові слова: розповсюдження вологи, дискретна модель, змочена зона, континуальна границя.

G.V. SHCHUTSKA

Kyiv College of Light Industry

ANALYSIS OF MOISTURE DISTRIBUTION IN THE MATERIAL BASED ON DISCRETE MODELLING

Abstract. The discrete modelling passage of moisture through the material is proposed. Material is presented in the form of pores and their interconnections with certain discrete characteristics. Discrete wetted zone border depending on the thickness of material and time is defined. Based on regression analysis path dependences are obtained. They allow to determine the soaked surface at any time.

Keywords. water distribution, discrete model, wetted zone, continuum limit.

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Багатошарові текстильні матеріали медичного призначення знаходять все більше використання. Одним з найважливіших характеристик таких матеріалів є їх здібність до водопоглинання. Хоча ряд дослідників намагалися дослідити процес поширення рідини в подібних матеріалах, реальних аналітичних розв'язків для них не одержано. Такі розв'язки могли поліпшити як процеси проектування подібних матеріалів, так і прогнозувати їх властивості в процесі експлуатації.

На наш погляд проблема пов'язана з тим, що реально дискретні текстильні матеріали часто намагаються розв'язувати за допомогою безперервних методів. В даній роботі зроблена спроба об'єднати безперервний та дискретний методи для одержання реальних характеристик матеріалу.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Проблемою розповсюдження вологи в текстильних матеріалах займалися ряд дослідників. В [1, 2] наведена інформація про спеціальні текстильні матеріали, спроможні поглинати вологу для використання при обслуговуванні хворих людей. Роботи [3, 4] направлені на визначення галузей використання подібних матеріалів, в них зокрема описаний процес поглинання вологи. Однак реальні моделі поглинання не описані. Поява таких моделей може допомогти створенню нових матеріалів, а також передбачати властивості існуючих.

В роботах [5-6] зроблена спроба створити моделі проникнення вологи в подібних матеріалах. Одержані результати, однак, важко використовувати на практиці у зв'язку з їх складністю.

Робота [7] присвячена обґрунтуванню дискретної моделі матеріалів. Результати цієї статті відносяться в основному для процесів розтікання рідини. Бажано було б використати ці результати для моделювання процесів накопичення рідини, враховуючи напрямки розробки тривимірних текстильних матеріалів, що проводяться в останній час [8].

Мета даної роботи – визначити залежність геометрії змоченої зони всередині матеріалу, базуючись на методах дискретного аналізу.

Як вже було відзначено, в роботі [7] були запропоновані дискретні методи визначення параметрів розповсюдження вологи в не суцільних матеріалах.

Доведено, що текстильні, шкіряні і інші фрактальні матеріали можуть розглядатися в дискретних моделях, при цьому методи їх розрахунків значно спрощуються.

Матеріал, який підлягає дії рідини представляється у цьому випадку у вигляді

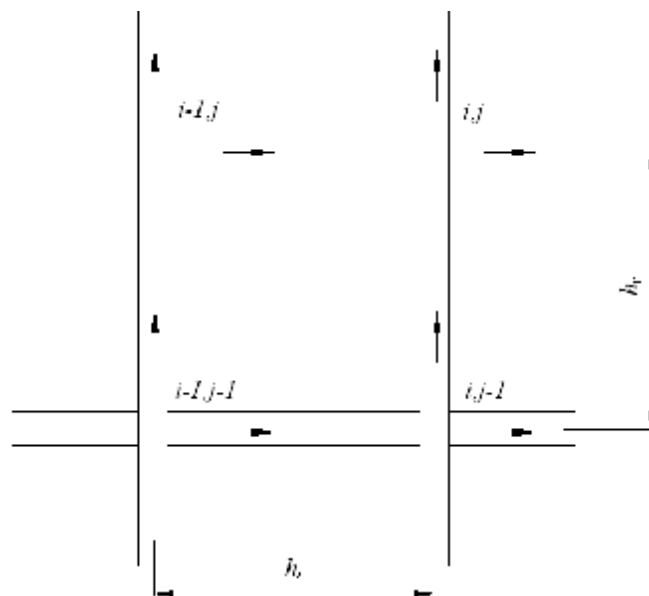


Рис. 1. Дискретна комірка матеріалу для перетікання рідини

системи комірок і переходів для перетікання води (рис. 1).

В точках контакту елементарних ділянок відбувається перетікання води, причому в залежності від властивостей матеріалів таке перетікання може мати асиметричний вигляд. В місцях зіткнення відбувається розділення потоків рідини між елементами. Будемо вважати номер елементарного зіткнення – m . Тоді інтенсивність води, що приходить до даного вузла – $u_y^{(m)}$. Частина води продовжує рух по вздовжнім

елементом, ця частина визначається відповідним коефіцієнтом і її доля дорівнює $k_{yy} \cdot u_y^{(m)}$. Дві літери при коефіцієнті означають, що це частина від води, що йшла у напрямку y і продовжує свій рух у напрямку y .

В поперечних напрямках відбувається рух рідини, частина якої потрапила при торканні вузла зв'язку елементів. Її доля дорівнює $k_{xy} \cdot u_y^{(m)}$. Дві літери при коефіцієнті означають, що це частина від води, що йшла у напрямку y і продовжує свій рух у напрямку x . В загальному випадку частина рідини, що рухається ліворуч і праворуч, може бути різною.

В даному вузлі, таким чином, формується початкова концентрація рідини для її подальшого руху. Ця початкова концентрація визначається сумою рідин, що приходять з двох напрямів

$$u_{x0}^{(m)} = k_{xx} \cdot u_x^{(m)} + k_{xy} \cdot u_y^{(m)},$$

$$u_{y0}^{(m)} = k_{yx} \cdot u_x^{(m)} + k_{yy} \cdot u_y^{(m)}.$$

Сумарне розповсюдження рідини може розглядатися в прив'язці до реальної структури дискретного матеріалу.

Для такої структури у випадку концентрації, що змінюється з часом можна записати додаток концентрації для вузла i, j .

Якщо записати вирази по концентрації рідини у всіх вузлах, можна одержати систему рівнянь по одержанню концентрації в усіх вузлах. У якості першого кроку треба записати вирази у припущеннях, взявши за базу проміжки часу з періодом Δt . Номер кроку по знаходженню концентрації означимо ϕ , тоді час, що розглядається може бути знайдений, як $t = \phi \cdot \Delta t$.

$$\Delta u_{x,0}^{i,j,t} = k_{xx} \cdot e^{-\frac{a_x h_x}{t \cdot \Delta t}} \left[\Delta u_{x,0}^{i-1,j,t-1} + u_{x,0}^{i-1,j,t-1} \frac{a_x}{t^2 \cdot \Delta t} \right] +$$

$$k_{xy} \cdot e^{-\frac{a_y h_y}{t \cdot \Delta t}} \left[\Delta u_{y,0}^{i,j-1,t-1} + u_{y,0}^{i,j-1,t-1} \frac{a_y}{t^2 \cdot \Delta t} \right],$$

$$\Delta u_{y,0}^{i,j,t} = k_{yx} \cdot e^{-\frac{a_x h_x}{t \cdot \Delta t}} \left[\Delta u_{x,0}^{i,j,t-1} + u_{x,0}^{i,j,t-1} \frac{a_x}{t^2 \cdot \Delta t} \right] +$$

$$k_{yy} \cdot e^{-\frac{a_y h_y}{t \cdot \Delta t}} \left[\Delta u_{y,0}^{i,j-1,t-1} + u_{y,0}^{i,j-1,t-1} \frac{a_y}{t^2 \cdot \Delta t} \right]$$

На базі запропонованої моделі був складений алгоритм, який реалізований в програмі розрахунку текстильного матеріалу.

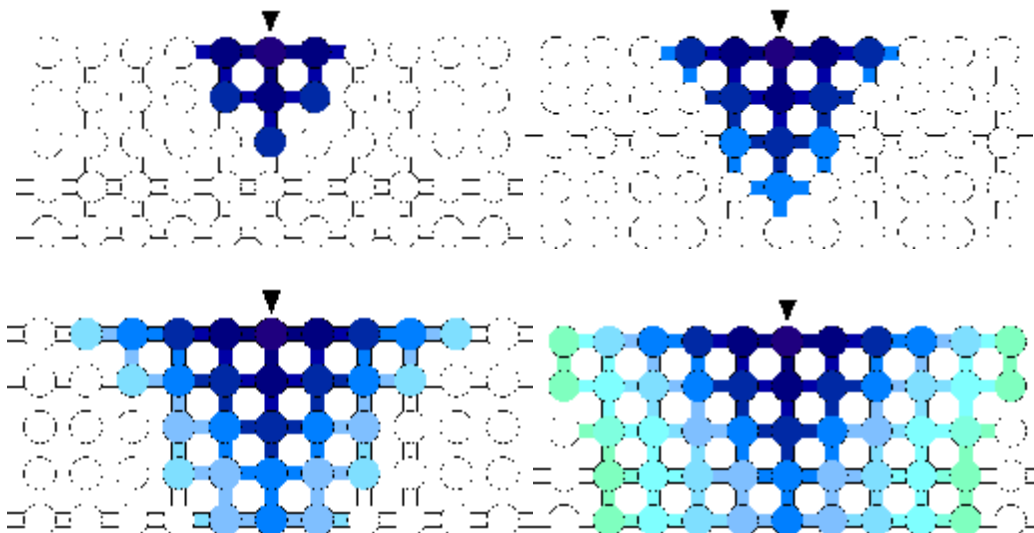


Рис. 2. Динаміка змоченої зони при дискретному моделюванні

Додатковою перевагою алгоритму є можливість визначення геометрії змоченої границі в матеріалі, що було досить важко зробити в інших моделях. Ці результати можуть бути дуже корисними при проектуванні технологічних процесів фарбування, чищення або інших процесів хімічної обробки.

На основі одержаних результатів можна передбачити точні границі змочення з врахуванням анізотропії матеріалу, реальної його структури, умов перетікання.

На рис. 2 показана динаміка зміни змоченої зони всередині матеріалу, виходячи з дискретного моделювання.

Надалі схему проникнення рідини будемо розглядати у вигляді, що показаний на рис. 3 Координату X розташовуємо горизонтально, вона буде визначати розмір змоченої зони, координату Z направляємо з поверхні вглиб матеріалу, вона змінюється в межах від нуля до величини товщини матеріалу.

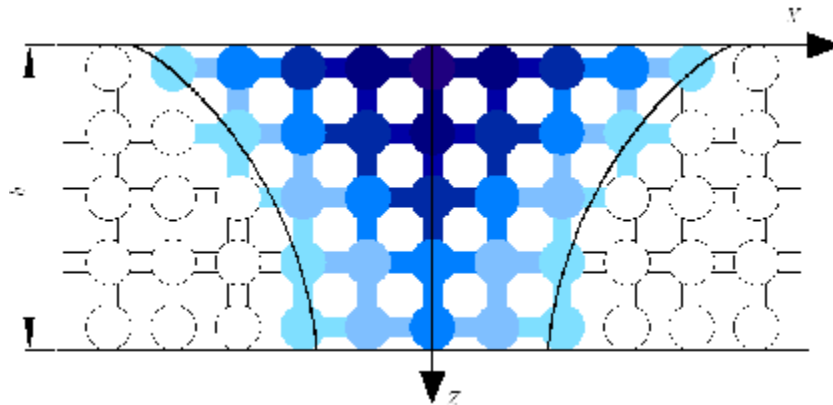


Рис. 3. Перетворення дискретного розподілення до континуального

На рис. 4 показні дискретні точки досягнення рідиною певної межі і апроксимуюча крива для моменту часу t .

Переходячи від дискретної моделі до континуальної, будемо підбирати функцію у вигляді експоненційної залежності.

$$x(z) = a \cdot e^{-b \cdot z}$$

Тут і надалі будемо користуватися безрозмірними координатами $z = \frac{Z}{h}$, $x = \frac{X}{X_{\max}}$, $X_{\max}$ – максимальна за часом зона розповсюдження рідини.

Зробивши елементарні перетворення, одержуємо

$$\ln x = \ln a - b \cdot z.$$

Таким чином одержане рівняння лінійної регресії. Для перевірки адекватності лінійного рівняння розраховуємо коефіцієнт кореляції. Означимо $x = \ln x$, $a = \ln a$.

$$R = \frac{\text{Коефіцієнт кореляції дорівнює}}{5 \cdot \sum (z_i - \ln x_i) - (\sum z_i \cdot \sum \ln x_i)} = -0,99, \text{ що доводить адекватність моделі.}$$

Введемо параметр – максимальний час, при якому відбувається насичення – зупиняється розширення змоченої зони $T_{\max}$. Безрозмірний час будемо визначати, як $t = \frac{t}{T_{\max}}$.

Використавши метод найменших квадратів, знаходимо рівняння регресії для різних параметрів часу. Так, для $\phi=0,2$ $x(z) = 0,38 \cdot e^{-2,6 \cdot z}$, для $\phi=0,4$ $x(z) = 0,66 \cdot e^{-1,62 \cdot z}$, для $\phi=0,8$ $x(z) = 0,88 \cdot e^{-0,79 \cdot z}$.

Одержані дані дозволяють знайти залежності від часу. Залежність коефіцієнта b у випадку дискретного моделювання показана на рис. 5.

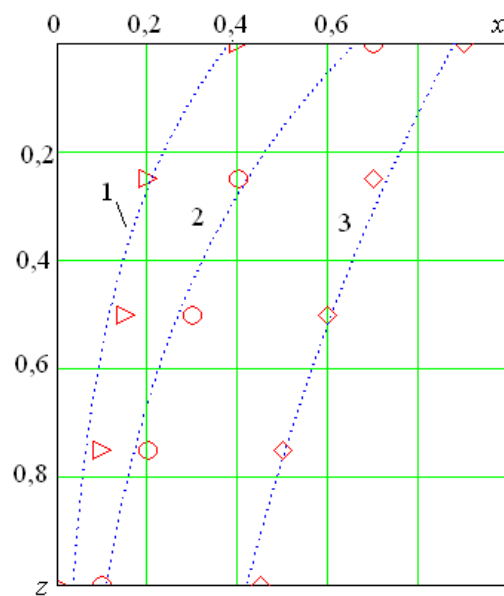
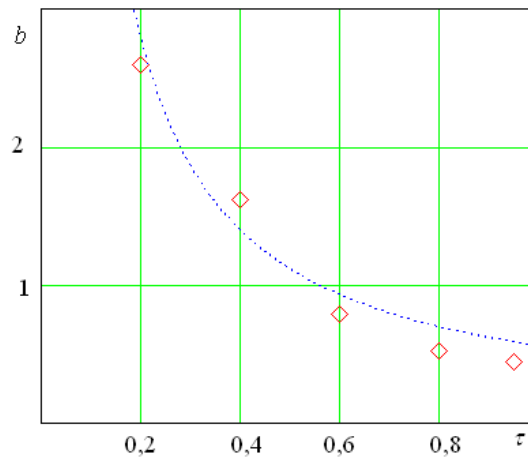


Рис. 4. Динаміка зміни границі змоченої зони

Рис. 5. Залежність коефіцієнту b від часу

Залежність коефіцієнту від часу будемо шукати у вигляді

$$b = \frac{k_1}{t^{k_2}}.$$

Логарифмуючи, одержуємо

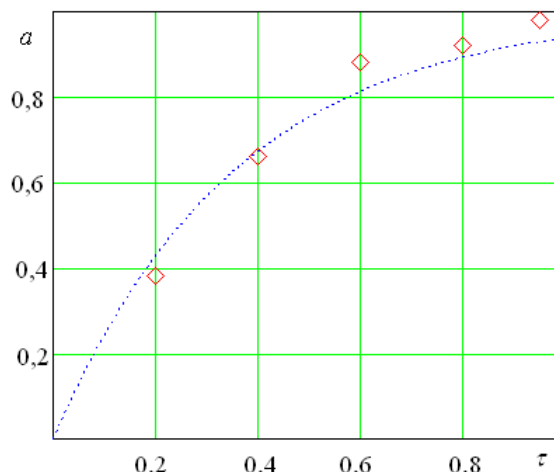
$$\ln b = \ln k_1 - k_2 \cdot \ln t.$$

Розв'язок за допомогою методу найменших квадратів дає вираз

$$b = \frac{0,56}{t^{0,97}} \approx \frac{0,56}{t}.$$

Аналогічним методом одержуємо залежність для коефіцієнту a

Функція залежності цього коефіцієнту від часу, знайдена методом дискретного аналізу показана на рис.6.

Рис. 6. Залежність коефіцієнту a від часу

Апроксимуючу функцію будемо шукати у вигляді

$$a = 1 - k_3 \cdot e^{-k_4 \cdot t}.$$

Логарифмуючи цей вираз, одержуємо

$$\ln(1-a) = \ln k_3 - k_4 \cdot t$$

Використання методу найменших квадратів дає вираз

$$a = 1 - 1,03 \cdot e^{-2,8 \cdot t} \approx 1 - e^{-2,8 \cdot t}.$$

У результаті одержуємо рівняння зміни границі змоченої зони у вигляді

$$x = e^{-0,56 \cdot \frac{z}{t}} \cdot (1 - e^{-2,8 \cdot t})$$

У довільному випадку коефіцієнти регресії можуть залежати від дискретних параметрів анізотропії. У цьому випадку загальний вираз границі змоченої зони може бути визначений, як

$$x = e^{-A1 \cdot \frac{z}{t}} \cdot (1 - e^{-A2 \cdot t}),$$

де $A1, A2$ є функціями дискретних параметрів a_x, a_y .
 Графічні зображення змоченої зони для континуальної функції показані на рис. 7.

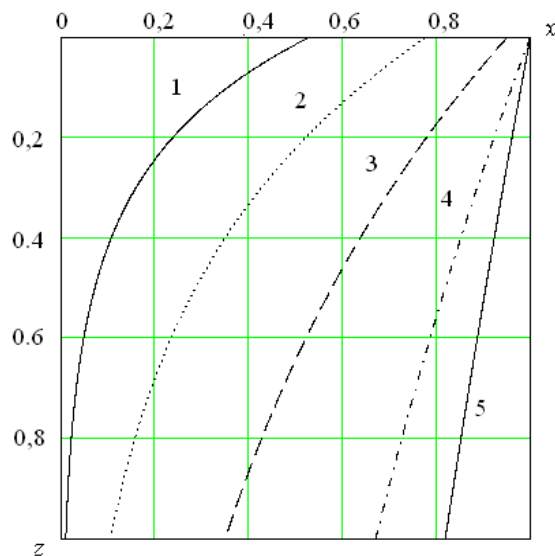


Рис. 7. Границя змоченої зони у випадку $a_x > a_z$ ($t_5 > t_4 > t_3 > t_2 > t_1$)

Задачею подальших досліджень є знаходження залежностей від коефіцієнтів анізотропії дискретних систем.

Висновки

Основним результатом даної статті є дискретна методика моделювання проходження рідини крізь матеріал, яка дозволяє визначати границі змоченої зони матеріалу як на його поверхні, так і по всій глибині. На основі дискретного моделювання визначення континуальна функція, що визначає проникнення рідини по всій глибині матеріалу в довільний момент часу.

Література

1. Pat. No. 0189955 US. Invertible multi-layer moisture management fabric pad / Miskie M. – 2006.
2. Pat. No. 0100597 US. Multi-layer moisture management fabric composite / Miskie M. – 2006.
3. Angela Davies, John Williams. The Use of Spacer Fabrics for Absorbent Medical Applications // Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. – 2009. – Vol. 1, No. 4. – P. 321–329.
4. Yip J. Ng SP. Study of three-dimensional spacer fabrics: Physical and mechanical properties // J. Mater Process Tech. – 2008. – Vol. 206. – P. 359–364.
5. Щуцька Г.В. Метод прогнозування проникнення рідини крізь пористі матеріали / Г.В. Щуцька // Східноєвропейський журнал передових технологій: Матеріалознавство. – 2015 – Т. 3, № 11(75) – С. 19–23.
6. Riabchykov N., Vlasenko V., Arabuli S. Linear mathematical model of water uptake perpendicular to fabric plane // Vlakna a textil. – 2011. – № 2 Rochik 18. – P. 24–29.
7. Щуцька Г.В. Дискретна двовимірна модель розтікання вологи в текстильних матеріалах / Г.В. Щуцька, Н.П. Супрун // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 3(86). – С. 107–114.
8. Bruer S.M. Three dimensional knit spacer fabrics-A review of production techniques and applications // JTATM. – 2005. – Vol. 4(4). – P. 1–31.

Рецензія/Peer review : 7.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
 Рецензент: д.т.н., проф. Рябчиков М.Л.

Л.В. ПЕЛИК

Львівська комерційна академія

О.В. КИРИЧЕНКО

Полтавський університет економіки і торгівлі

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЯКОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ШАРУ

У статті розглянуто процес фільтрації геотекстильними нетканими матеріалами під час їх застосування у різних конструкціях. З'ясовано, що однією із причин зниження здатності до фільтрації є колювання матеріалів дрібними частинками ґрунту. За співвідношеннями діаметру фільтраційного ходу та максимальним діаметром частинок ґрунту визначено можливість використання геотекстильних нетканих матеріалів у дренажно-фільтраційних системах, під час армування укосів тощо. Для більш повного дослідження геотекстильних нетканих матеріалів необхідно також враховувати інші гідравлічні характеристики полотен, параметри ґрунту, потоку води, конкретної сфери застосування.

Ключові слова: геотекстильні неткані матеріали, фільтрація, діаметр фільтраційного ходу, діаметр частинок ґрунту, колювання, гідравлічні характеристики.

L.V. PELYK

Lviv Commercial Academy

O. V. KYRYCHENKO

Poltava University of Economics and Trade

FEATURES APPLICATION OF NONWOVEN GEOTEXTILE AS A LAYER FOR FILTERING

In the article, the process of filtration the nonwoven geotextile is considered during their application in different constructions. It was found, that one of reasons of decline of capacity for filtration there is mudding of materials by the shallow particles of soil. After correlations of diameter of the filtration channel and maximal diameter of particles of soil, possibility of the use of the nonwoven geotextile is certain in the drainage-lauter systems, during re-enforcement of hay-crops and others like that. For more complete research of the nonwoven geotextile it is necessary also to take into account other hydraulic descriptions of linen, parameters of soil, stream of water, concrete application domain.

Keywords: nonwoven geotextile, filtration, diameter of the filtration channel, diameter of particles of soil, mudding, hydraulic descriptions.

Вступ

Геосинтетичні матеріали у процесі експлуатації постійно перебувають у конструкціях, де вони контактують із ґрунтом, водою, окремими наповнювачами (пісок, щебінь, галька) тощо. Для земляного полотна є характерними процеси інтенсивного вологонакопичення, капілярного підйому ґрунтових вод, випаровування вологи. Нетканий геотекстиль є пористим водопроникним матеріалом, що завдяки структурі полотна пропускає воду, затримуючи інші частки на поверхні. Застосування геотекстильних нетканих матеріалів для розділення шарів, що характеризуються різними розмірами, формою, упорядкуванням структури, можливістю внутрішнього руху частинок під дією навантаження, дає можливість протягом тривалого часу забезпечувати розмежування різнорідних матеріалів.

Разом з функцією розділення, не менш важливою є функція фільтрування. Адже, саме геотекстильні неткані матеріали (ГНМ) найчастіше використовуються в якості фільтрів у різноманітних об'єктах будівництва. Для забезпечення виконання ГНМ своїх функцій та збереження строку служби потрібно враховувати процес колювання, в результаті якого зменшується пористість як ґрунту, так і геотекстилю. Дрібні частинки, заповнюючи отвори матеріалу, можуть сильно знизити здатність до фільтрації ГНМ. Не менш важливою також виступає така функція ГНМ як захист дренажних конструкцій [1].

Таким чином, виконуючи декілька функцій одразу, геотекстиль повинен мати комплекс властивостей, що задовольнятимуть усі потреби споживачів, спеціалістів з ландшафтною архітектури, будівництва, садівництва та інших напрямів. Для правильного вибору ГНМ потрібно враховувати гранулометричний склад ґрунту, тип потоку води (стаціонарний, циклічний, динамічний, пульсуючий), гідравлічний градієнт тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як відомо, фільтрація води у ґрунтових масивах підпорядковується закону ламінарної фільтрації Дарсі, який також можна застосувати до системи геосинтетичний матеріал – ґрунт [2]. Оруджова О. Н. для характеристики гідравлічних властивостей геотекстильних матеріалів пропонує виокремлювати параметри геокомпозиційної системи прошарок – ґрунт – ґрунтові води [3]. При цьому ГНМ і ґрунт розглядаються зі сторони пористих тіл, а тому на перший план виступають капілярні явища (капілярний тиск, висота та швидкість капілярного підйому) та фактори, що на них впливають (розмір пор, отворів, температура, ступінь мінералізації води). А водопроникність перпендикулярна площині нетканого матеріалу є фактором, що приймається до уваги при виборі геотекстилю для спорудження дренажів та фільтрів, захисту

гідроізоляції конструкцій, розділення та армування шарів ґрунту. ГНМ є своєрідним фільтром, що забезпечує рух води, не порушуючи при цьому структуру ґрунтового шару. Геотекстиль повинен затримувати частинки ґрунту, забезпечувати вільне протікання води, залишатися пористим, бути стійким до руйнування під дією впливів різної природи.

Для опису та з'ясування механізму фільтрації розроблені численні математичні моделі. Так, Олійник О. Я. пропонує розглядати процес з урахуванням як зовнішнього, так у внутрішнього, кольматування дрібними частинками [4]. Дана модель характеризується двостадійністю. Спочатку проходить кольматація внаслідок відкладення частинок меншого діаметру у відкритих порах фільтрувального матеріалу. Далі розпочинається друга стадія, коли на поверхні фільтру осідають частинки більшого діаметру та формують шар у прифільтровій зоні. При цьому внутрішня кольматація також триває. Виділяють наступні особливості під час проектування фільтраційних шарів із геотекстилю [5]:

- розмір найбільшої пори матеріалу повинен бути меншим, ніж великі частинки ґрунту. У результаті дотримання цієї умови утвориться фільтраційний міст, що буде затримувати інші частинки ґрунту;

- ймовірність “засліплення” фільтру у разі проходження частинок ґрунту крізь найменші отвори та їх поступове засмічення;

- геотекстиль повинен мати пори різного діаметру, щоб забезпечувати водопроникність протягом тривалого часу, незважаючи на кольматацію.

Відомі різні співвідношення між діаметром частинок ґрунту та діаметром фільтраційного ходу для розрахунку можливості застосування геотекстильних матеріалів у якості фільтруючого шару. Таким чином, діаметр фільтраційного ходу є важливою характеристикою ГНМ і розраховується за формулою 1:

$$d_u = 2 \cdot d_p \left(\frac{1}{\sqrt{1-n}} - \frac{1}{\sqrt{p}} \right), \quad (1)$$

де d_p – діаметр волокна;

n – пористість.

Пористість геотекстилю, що забезпечує ефективну роботу даного матеріалу, за різними джерелами повинна бути більшою 50%. За ВБН для оцінки гідравлічних характеристик застосовують критерії утримання ґрунту, водопроникності фільтру, не забивання фільтру, міцності та стійкості. Щодо умов утримання ґрунту, то для дорожнього будівництва через геотекстиль повинно проходити не більше 10% частинок ґрунту, для використання у дренажах та фільтрах цей показник встановлюється на рівні не більше 5%. Для вибору ГНМ з необхідним розміром отворів потрібно мати інформацію про тип ґрунту, його густину, коефіцієнт однорідності, гранулометричний склад.

У випадку, коли дані характеристики ґрунту не визначено, використовують розрахункове значення діаметру фільтраційного ходу матеріалу.

За даними наукових досліджень встановлено, що максимальний діаметр частинок, які переміщуються у матеріалі під час кольматації, приймається за $d_{ci}^{\max} \leq 0,05$ мм. Використовуючи критерії Абрамса, що застосовуються під час буріння свердловин для видобування нафти, розраховують фракційний склад кольматанту та розмір частинок, що потрібний для початку кольматації. Діаметр частинок повинен бути рівним або більшим, ніж 1/3 середнього розміру пор пласту. Враховуючи дану залежність, можна зробити висновок, що кольматації геотекстилю можна частково уникнути, коли забезпечується наступне співвідношення (2) між діаметром фільтраційного ходу d_u та діаметром суфозійних частинок d_{ci} [9]:

$$d_{ci}^{\max} \leq \frac{d_u}{3} \quad (2)$$

Також використовують наступне співвідношення (3), дотримання якого дає можливість прогнозувати протікання процесу кольматації ГНМ під час армування насипів:

$$d_u \geq (3,3 \dots 4,4) d_{ci}^{\max} \quad (3)$$

Підставивши значення діаметру суфозійних частинок (0,05 мм), отримуємо інтервал, у якому повинен знаходитися діаметр фільтраційного ходу ГНМ (4):

$$0,165 \leq d_u \leq 0,220 \quad (4)$$

Однак, для захисно-фільтрувальних матеріалів повинна виконуватися наступна умова при значенні

$$d_c^{\max} \leq 0,05 \text{ мм} \quad (5):$$

$$\frac{d_u}{d_c^{\max}} \geq 2,5 \quad (5)$$

Таким чином, відсутній єдиний підхід у визначенні оптимальних характеристик геотекстильних

нетканних матеріалів, що використовуються для виконання функцій фільтрування, захисту, армування та розділення у різних конструкціях.

Постановка завдання

Метою дослідження є з'ясування необхідних гідравлічних характеристик геотекстильних нетканних матеріалів для запобігання їх кольматації у дренажно-фільтраційних системах, під час розділення шарів ґрунту тощо.

Об'єктами дослідження виступали зразки геотекстильних нетканних матеріалів, що отримані шляхом голкопробивання без додаткової обробки (зразки 1, 2, 8) та з подальшою термофіксацією (зразки 3–7, 9), просочуванням (зразки 4, 5, 7). Полотна виготовлені із поліефірних (зразки 1, 3–7, 9) та поліпропіленових (зразки 1, 2, 8) волокон.

Результати дослідження

Для геотекстильних нетканних матеріалів, крім високих показників фізико-механічних властивостей, важливим є збереження гідравлічних характеристик протягом тривалого часу експлуатації. Зниження фільтраційної здатності спричиняє часткове або повне кольматування матеріалу часточками ґрунту. Враховуючи умови застосування геотекстильних нетканних матеріалів та відомі співвідношення, можна прогнозувати протікання процесу кольматації шляхом розрахунку діаметр фільтраційного ходу.

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних геотекстильних нетканних матеріалів

Зразок	Поверхнева густина, г/м ²	Товщина, мм	Об'ємна густина, г/м ³
1	100	1,14	0,09
2	96	0,95	0,10
3	125	0,78	0,16
4	118	0,70	0,17
5	162	0,87	0,19
6	200	1,06	0,19
7	194	1,14	0,17
8	170	1,89	0,09
9	311	1,48	0,21

Як видно із табл. 1, зразки геотекстильних нетканних матеріалів, що досліджувалися, характеризуються різною поверхневою густиною (100–300 г/м²), товщиною (0,70–1,89 мм) та об'ємною густиною.

Використовуючи формули 1, 2 та 5, було розраховано основні характеристики матеріалу та ґрунту, що враховуються при кольматації. Результати дослідження наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові значення діаметрів фільтраційного ходу та суфозійних частинок ґрунту

Зразок	Пористість, %	Розрахункове значення діаметру фільтраційного ходу, мм	Значення $\frac{d_u}{d_c}$, (співвідношення 5)	Максимальний діаметр суфозійних частинок, мм (співвідношення 2)
1	93	0,263	5,26	0,088
2	89	0,296	5,93	0,099
3	88	0,184	3,68	0,061
4	88	0,184	3,68	0,061
5	86	0,171	3,42	0,057
6	86	0,171	3,42	0,057
7	88	0,184	3,68	0,061
8	90	0,308	6,17	0,103
9	85	0,160	3,20	0,053

Враховуючи співвідношення 4, за даними табл. 2 зразки 1, 2, 8, 9 мають діаметр фільтраційного ходу, що виходить за рамки оптимального інтервалу, тобто є схильними до кольматації під час використання у розділенні шарів та армуванні укосів. За показником пористості всі зразки можуть використовуватися у конструкціях, де однією із умов є контакт із водою та водопроникність матеріалу.

У дренажно-фільтрувальних системах, як захисно-фільтрувальні матеріали, можуть застосовуватися усі досліджувані зразки, оскільки відношення діаметру фільтраційного ходу до максимального діаметру частинок ґрунту більше значення 2,5. У разі дотримання умови, що діаметр 85–90% частинок ґрунту буде

менше 0,05 мм, зразки геотекстильних нетканих матеріалів не піддаватимуться кольматації при некритичних умовах використання.

Як видно з табл. 2, максимальні діаметри частинок, що вільно проходять крізь геотекстильні неткані матеріали, для усіх зразків різні, а тому для правильного вибору матеріалу потрібно визначати гранулометричний склад ґрунту.

Висновки

Отже, дослідження пористості та діаметру фільтраційного ходу геотекстильних нетканих матеріалів дає можливість вибрати зразки, що менше піддаватимуться кольматації під час контакту із ґрунтом та проходження води у системі геотекстильний нетканий матеріал – ґрунт. Для застосування у дренажно-фільтраційних системах придатними є усі зразки, однак, в умовах паралельного виконання інших функцій, досліджувані зразки 1, 2, 8, 9 можуть вкладатися в ґрунт лише після аналізу його гранулометричного складу.

Література

1. Щербина Е. В. Геосинтетические материалы в строительстве / Щербина Е. В. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 111 с.
2. Оруджова О. Н. Особенности гидравлических характеристик геотекстильных материалов, применяемых в конструкциях лесовозных дорог / О. Н. Оруджова // Лесн. журн. – 2010. – № 3. – С. 72–76. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Олійник О. Я. Моделювання фільтрування неоднорідної суспензії з утворенням шару осаду / О. Я. Олійник, С. М. Сорокін // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. – К., 2006. – Вип. 6. – С. 34–38.
4. Окунцев А. С. Использование геосинтетических материалов в качестве дренажных и фильтрационных систем / А. С. Окунцев, В. Г. Офрихтер // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура, 2014. – № 1. – С. 134–151.

Рецензія/Peer review : 18.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Семак Б.Д.

АНАЛІЗ І ОЦІНКА ПЕРЕОРІЄНТАЦІЇ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ВІТЧИЗНЯНОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ У ГАЛУЗІ ТЕКСТИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Проведений аналіз і оцінка стану вітчизняної стандартизації в галузі текстильного виробництва, обґрунтована доцільність розроблення серії нових стандартів для оцінювання та контролю різних за способами виробництва, волокнистим складом та призначенням текстильних полотен і виробів з них, гармонізованих з вимогами європейських і міжнародних стандартів.

Ключові слова: стандартизація, імплементація, гармонізація, ступінь відповідності, ринок текстилю, система технічного регулювання, напрямки розвитку, переорієнтація вимог.

I.S. GALYK., B.D. SEMAK

Lviv Academy of Commerce

ANALYSIS AND EVALUATION OF REORIENTATION DEVELOPMENT DIRECTIONS OF THE EXISTING DOMESTIC STANDARDIZATION SYSTEM

Abstract - Modern changes in technology and different textile materials and products production the saturation of domestic market with more competitive types of foreign production textile led to a corresponding re-orientation of the directions of national standardization development in the textile production field.

On the basis of normative documents analysis, literary sources analysis and the results of our own research we have to substantiate the main directions of standardization system reorganization in the areas of textiles production and trade.

Object of research are scientific publications, regulatory documents on quality and security of textile materials and products. Research method is analytically theoretical.

While analysing the normative regulating documents and the requirements to the quality and safety of different fiber composition textile materials, sewing and knitted products, their weaknesses and ambiguities have been revealed. The approaches and directions of implementation of European and international standards on the criteria, norms and methods in national standards have been formed.

Keywords: standardization, harmonization, degree of accordance, market of Text., system of the technical adjusting, directions of development.

Вступ

Затяжна економічна криза, суттєві зміни в технологіях і обсягах виробництва різних за призначенням текстильних матеріалів і виробів, постійне насичення вітчизняного ринку більш конкурентними видами текстилю зарубіжного виробництва обумовили значні зміни в асортиментній структурі вітчизняного ринку текстилю, а відповідно, і необхідність переорієнтації напрямків розвитку системи стандартизації в галузі текстильного виробництва в Україні.

В даній роботі ми обмежимося аналізом і оцінкою сучасного стану вітчизняної системи стандартизації у сфері текстильного виробництва і пошуку ефективних шляхів її вдосконалення.

Постановка завдання

Порівняльна характеристика інформації, що міститься в європейських, міжнародних, гармонізованих з ними і негармонізованих вітчизняних стандартах щодо формування асортименту та якості промислової продукції та методів її оцінювання переконливо свідчать про необхідність корінної перебудови існуючої системи вітчизняної стандартизації. В даній роботі ми обмежимося тільки виявленням недоліків і пошуком шляхів удосконалення та переорієнтації напрямків розвитку стандартизації у сфері вітчизняної текстильної промисловості, залучаючи для вирішення цих завдань науковців галузевої і вузівської науки сфери текстильної і легкої промисловості та торгівлі.

На нашу думку, першочергового вдосконалення вимагають ті види вітчизняних стандартів, в яких регламентовані вимоги до формування та оцінювання рівня якості та безпечності різних за призначенням та способом виробництва груп текстильних матеріалів і виробів. Мова повинна йти передусім про невідкладну заміну у сферах вітчизняного текстильного виробництва та торгівлі текстильними товарами, а також у навчальних закладах названих галузей, затверджених до 1992 року стандартів колишнього СРСР щодо формування асортименту та оцінки якості цих товарів сучасними державними та гармонізованими із вимогами європейських і міжнародних стандартів державними стандартами. Особлива увага при цьому повинна приділятися розробленню більш ефективних методів оцінювання якості нових видів товарів (екотекстилю, нанотекстилю, елітному текстилю, геотекстилю, медтекстилю, а також різним за призначенням та способами виробництва текстилю технічного та спеціального призначення) [1].

Сучасного трактування і розроблення нових підходів вимагає стандартизація норм, критеріїв і методів оцінки безпечності різних за призначенням груп текстильних матеріалів. Це стосується передусім екологічної безпечності текстилю одягового та інтер'єрного призначення [2].

При вирішенні піднятих питань обов'язково слід враховувати вимоги не тільки вітчизняних, але й європейських і міжнародних стандартів щодо оцінювання рівня якості та безпечності текстильної продукції.

Так, наприклад, в роботі [3] відзначається, що нагляд за безпечністю та відповідністю нехарчової продукції вимогам технічних регламентів здійснюється шляхом державного ринкового нагляду відповідно до Законів України "Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції" та "Про загальну безпечність нехарчової продукції", які розроблені на основі Регламенту ЄС 765/2008, Директиви 2001/95 ЄС та Рішення 768/2008. Автори даної роботи підкреслюють, що в нашій країні потрібно вдосконалювати існуючу систему ринкового нагляду нехарчової продукції, оскільки принципи, за якими здійснюється ринковий нагляд за дотриманням вимог стандартів, норм і правил, ще не відповідає європейським.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Судячи з аналізу літературних джерел у вітчизняній системі стандартизації у сфері промислового виробництва [4], включаючи текстильну та легку промисловість, відбуваються наступні зміни:

- відбувається переорієнтація вимог вітчизняних стандартів на вимоги європейських і міжнародних стандартів щодо формування та оцінювання рівня якості та безпечності товарів різного цільового призначення та способів виробництва;
- вітчизняна система стандартизації у сфері текстильної і легкої промисловості націлена на реалізацію державних програм при виконанні Угоди із СОТ, Угоди про асоціацію України з ЄС, підготовки України до вступу до ЄС та інших державних програм;
- проводиться вивчення і пошук шляхів усунення розбіжностей у вітчизняних, європейських і міжнародних стандартах щодо регламентації норм, критеріїв і методів оцінювання рівня якості та безпечності товарів текстильної і легкої промисловості, як і товарів інших галузей промисловості;
- йде імплементація вимог європейських і міжнародних стандартів у сфері вітчизняної текстильної і легкої промисловості, як і інших галузей, і заміна застарілих стандартів колишнього СРСР, затверджених до 1992 року.

Для прикладу розглянемо деякі літературні джерела, в яких вивчається можливість і шляхи вирішення піднятих питань. Так, в роботі [4] автором приведено аналіз і оцінку змін, які останнім часом відбуваються у вітчизняній системі стандартизації у контексті реалізації Угоди про асоціацію України та ЄС. Підкреслюється, що гармонізація вимог вітчизняних стандартів у сфері промислового виробництва з вимогами європейських і міжнародних стандартів дозволить вітчизняним виробникам продукції суттєво підвищити якість і конкурентоспроможність своїх товарів, забезпечити модернізацію свого виробництва, полегшити доступ на міжнародний ринок.

Авторами роботи [5] вивчена можливість виходу вітчизняної текстильної продукції на зарубіжні ринки. Розглянуто особливості міжнародної системи стандартизації та сертифікації у сферах зарубіжної текстильної і легкої промисловості та виявлено можливості використання позитивного зарубіжного досвіду у вітчизняному виробництві. При цьому основну увагу приділено розробленню методологічних засад формування асортименту та якості екотекстилю та вдосконаленню методів оцінювання його якості та екологічної безпечності.

В роботі [6] на прикладі взуття для дітей розглянуто проблеми формування та оцінювання безпечності товарів вітчизняної легкої промисловості. Сформульовано та обґрунтовано класифікацію основних видів безпечності взуття та дано їх товарознавчу характеристику. Обґрунтовано вимоги до різних видів безпечності взуття для дітей. Розкрито роль і місце безпечності у формуванні оптимальної структури асортименту взуття.

Авторами роботи [7] розглянуто шляхи подальшого розвитку та вдосконалення системи вітчизняної екологічної стандартизації та сертифікації у сфері вітчизняного текстильного виробництва. Наведено результати порівняльної оцінки показників екологічних властивостей, що містяться у міжнародному екологічному стандарті Екотекс-100 і гармонізованому з ним ДСТУ 4239:2003. Виявлені розбіжності між цими показниками. Обґрунтована доцільність внесення необхідних змін і доповнень у ДСТУ 4239:2003. Сформульовані напрямки подальшого вдосконалення вітчизняної системи екологічної стандартизації та сертифікації у сфері текстильного виробництва.

Авторами роботи [8] проведено аналіз тенденцій у стратегічних напрямках та підходах до розвитку стандартизації на міжнародному, регіональному та національному рівнях. Обґрунтовано та вибрано перспективні напрямки підвищення ефективної стандартизації. На цій основі запропоновано шляхи подальшого вдосконалення вітчизняної системи стандартизації у сфері промислового виробництва. Авторами запропоновані конкретні напрямки подальшого розвитку та вдосконалення вітчизняної системи стандартизації.

Мета роботи. На основі аналізу літературних джерел і результатів власних досліджень виявити основні напрямки перебудови вітчизняної системи стандартизації у сферах виробництва та торгівлі текстилю.

Викладення основного матеріалу та його авторська трактовка

Освоєння нових і вдосконалення існуючих видів текстильної сировини, використання сучасних технологій її переробки, створення нових видів текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення (екотекстиль, нанотекстиль, елітний текстиль, текстиль спортивного, медичного, технічного та спеціального призначення), насичення вітчизняного ринку різноманітними видами імпортованих текстильних

матеріалів і виробів, збільшення обсягів виробництва текстилю експортного призначення, орієнтованого на вимоги зарубіжних ринків, вимагають, на нашу думку, не тільки суттєвого вдосконалення, але й певної переорієнтації напрямків розвитку вітчизняної системи стандартизації у сфері текстильного виробництва й у інших галузях вітчизняної легкої промисловості, які є споживачами текстильної продукції.

Представляється доцільним сформулювати та обґрунтувати основні напрямки подальшого вдосконалення системи вітчизняної стандартизації на прикладі роботи вітчизняної текстильної промисловості, акцентуючи основну увагу на пошуку ефективних шляхів виходу цієї галузі із затяжної економічної кризи.

Як свідчить аналіз літературних джерел, чинних нормативно-правових актів і результатів наших досліджень, основними завданнями вітчизняної системи стандартизації у сфері текстильного виробництва, як і в інших галузях легкої промисловості України, слід вважати:

- суттєве підвищення якості, безпечності та конкурентоспроможності вітчизняної текстильної продукції, яка поступає як на вітчизняний, так і на зарубіжний ринки;
- імплементація вимог Європейських і міжнародних стандартів у сферу вітчизняного текстильного виробництва та торгівлі текстильними товарами щодо формування асортименту та якості текстильної сировини, обґрунтування основних параметрів технології її переробки, обґрунтування оптимальності структури асортименту та властивостей різних за призначенням і способами виробництва текстильних матеріалів і виробів, формування та оцінювання рівня якості та безпечності текстильної продукції та інших;
- вивчення та узагальнення конкурентних переваг і недоліків тих видів текстильних матеріалів і виробів імпортного виробництва, які тривалий час домінують на вітчизняному ринку текстилю;
- більш широке використання в практиці вітчизняного текстильного виробництва та торгівлі текстильними товарами позитивного зарубіжного досвіду щодо формування оптимальної структури асортименту текстилю, особливостей його ринкового нагляду, використання більш ефективних критеріїв і методів оцінювання та контролю рівня його якості та безпечності.

Як відомо, нині вже трудно собі уявити ділянку чи процес текстильного виробництва, які б обходились без застосування стандартизації. В даній роботі ми обмежимось тільки розкриттям ролі стандартизації у формуванні та оцінюванні рівня якості та безпечності текстилю. Представляється доцільним сконцентрувати зусилля фахівців сфери вітчизняної стандартизації, текстильного виробництва та торгівлі на вирішенні наступних вузлових завдань щодо формування і оцінювання рівня якості та безпечності текстильної продукції:

1. Вже давно назріла нагальна потреба перегляду існуючої в нашій країні системи визначення та контролю сортності та рівня якості текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення та способів виробництва, яка базується на основі вже застарілих стандартів колишнього СРСР. Для прикладу спочатку назвемо тільки ГОСТи 161-86, 357-75 і 187-85, які регламентують вимоги до процедури визначення сортності відповідно бавовняних, лляних і шовкових тканин.

Основні розбіжності при визначенні сортності цих тканин стосуються: у номенклатури та кількості нормативних показників, розмірів допусків і обмежень, порядку їх оцінки при визначенні сортності тканин різного волокнистого складу.

Основними недоліками названих стандартів, на нашу думку, слід вважати:

- відсутність в них єдиного підходу до вимог і самої процедури визначення та контролю сортності цих груп тканин;
- неспівпадіння у виборі номенклатури показників будови та властивостей тканин різного волокнистого складу, які враховуються при визначенні їх сортності;
- розбіжності у визначенні умовної довжини цих тканин і формулах перерахунку дефектів на фактичну площу;
- розбіжностей у переліку кількості сортів і нормативних для них сумарній кількості дефектів.

Деталізуємо цей перелік названих розбіжностей. По-перше, так, якщо при визначенні сортності бавовняних і шовкових тканин (ГОСТи 161-86 і 187-85) сумарний допуск дефектів у сортній продукції включає: сумарну кількість місцевих дефектів, перерахованих на умовну довжину, та як правило, один поширений дефект і одно із нормативних відхилень від показників будови та властивостей (останні допускаються тільки в 2-му сорті для бавовняних тканин і 2-му та 3-му сортах для шовкових тканин), то для лляних тканин згідно з ГОСТ 357-75 у сортній продукції регламентуються тільки місцеві дефекти, кількість яких нараховується на умовну площу, а кількість поширених дефектів і відхилень від показників будови та властивостей обмежується, а самі тканини з такими дефектами відносяться тільки до 2-го сорту).

По-друге, якщо кількість відхилень від показників будови та властивостей бавовняних і лляних тканин у ГСП 186-86 і 357-75 співпадає, то для шовкових тканин регламентується тільки відхилення від ширини та щільності.

По-третє, якщо бавовняні і лляні тканини випускаються 2-сортів, а шовкові 3-х, то вовняні тканини згідно з ДСТУ 4292:2004 тканини чистововняні, вовняні та напіввовняні. Оцінювання якості взагалі на сорти не поділяється. Більше того, сама процедура оцінювання якості вовняних тканин за ДСТУ 4292:2004 принципово відрізняється за змістом і процедурою визначення сортності бавовняних, лляних і шовкових тканин.

Як бачимо, при визначенні сортності та якості тканин в окремих підгалузях вітчизняної текстильної промисловості існують суттєві розбіжності. Більше того, названі види стандартів (особливо ГОСТи 161-86, 357-75 і 187-85) є практично непридатними для уніфікації їх вимог до оцінювання якості та контролю відповідним за волокнистим складом груп тканин, а тим більше до їх гармонізації з відповідними європейськими та міжнародними стандартами. Це в повній мірі стосується і специфіки визначення сортності та якості трикотажних і нетканних полотен, яка також не узгоджується зі специфікою оцінки та контролю сортності готових виробів із цих полотен. Так, наприклад, при визначенні сортності швейних виробів (ГОСТ 12566-88) пошитих із відповідних видів тканин, трикотажних і нетканних полотен, використовується процедура оцінки дефектів матеріалів в цих виробках. А тому якість швейного виробу (костюму, пальто та інших) може виявитись різною, якщо ці вироби пошиті із одного і того ж, наприклад, формостійкого трикотажного полотна у швейній (ГОСТ 12566-88) чи у трикотажній (ГОСТ 1115-81) галузях промисловості.

Неважко здогадатись, чому та звідки виникла така ситуація з оцінюванням якості текстильних матеріалів, швейних і трикотажних виробів з них. Вся справа в тому, що кожний центральний науково-дослідний інституту тієї чи іншої галузі текстильної чи легкої промисловості колишнього СРСР розробляв і затверджував свій ГОСТ, який регламентував процедуру оцінювання сортності та якості тільки свого виду продукції, не турбуючись про уніфікацію та узгодженість загальних вимог до якості полотен тканого, трикотажного та нетканого виробництва і виробів з них між собою, а тим більше їх узгодженість з вимогами міжнародних і Європейських стандартів у сфері текстильної і легкої промисловості.

Для виходу з цієї ситуації ми пропонуємо:

1. Рекомендувати ДП Укр НДНЦ (Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості) разом із Міністерством економічного розвитку і торгівлі України безвідкладно розробити та затвердити серію гармонізованих із Європейськими та міжнародними стандартами нових видів ДСТУ щодо оцінювання рівня якості та безпечності текстильних полотен різних способів виробництва та виробів із них різного цільового призначення.

2. Згідно з наказом № 1493 від 30 грудня 2014 року "Про прийняття Європейських та зарубіжних нормативних документів як національних стандартів України, змін до національних стандартів України та скасування національних стандартів України" Міністерства економічного розвитку і торгівлі України із сфери вітчизняного текстильного виробництва та торгівлі текстильними товарами повинні бути вилучені всі види стандартів колишнього СРСР, затверджені до 1992 року, включаючи і розглянуті ними стандарти щодо оцінювання та контролю сортності та якості тканин, трикотажних і нетканних полотен і виробів з них.

3. Представляється доцільним в указанні видів ДСТУ щодо оцінювання якості текстильних матеріалів і виробів включити більш ефективні комплексні критерії та показники оцінювання якості та інтегральної конкурентоспроможності, надійності в експлуатації, гігієнічності та художньо-естетичного оформлення і взагалі відмовитись від категорії сортності даної групи товарів, як гарантуються нині нормативні показники їх різноманітних механічних, фізичних, біохімічних та інших властивостей.

4. Відмова від процедури оцінювання сортності продукції на вітчизняних підприємствах текстильної і легкої промисловості обумовлена декількома причинами, а саме:

- рівень сучасного розвитку багатьох підприємств названих галузей промисловості вже дозволяє гарантувати випуск бездефектної продукції;
- наявність малозначних дефектів, які враховуються при оцінюванні та контролі сортності названої продукції практично не впливає на формування її ключових властивостей (надійність в експлуатації, гігієнічність, безпечність та інші, а тому вже мало цікавить споживачів цієї продукції).

5. Поглиблених і комплексних товарознавчих досліджень вимагає формування та досвід оцінювання різних видів безпечності текстильних матеріалів і виробів (хімічної, біологічної, термічної, механічної, санітарно-гігієнічної, екологічної та інших). Мова йде не тільки про обґрунтування та стандартизацію вимог до названих видів безпечності текстильних матеріалів і виробів, але й про встановлення і стандартизацію норм, критеріїв і ефективних методів їх оцінювання.

Висновки

1. Обґрунтована доцільність розроблення серії нових вітчизняних стандартів для оцінювання та контролю рівня якості різних за способами виробництва, волокнистим складом та призначенням текстильних полотен і виробів з них, їх гармонізації з вимогами Європейських і міжнародних стандартів, а також вилученням із сфери вітчизняної текстильної і легкої промисловості та торгівлі застарілих стандартів колишнього СРСР щодо оцінювання та контролю сортності названих полотен і виробів.

2. Запропоновано відмовитись від процедури оцінювання та контролю сортності вітчизняної продукції у сферах текстильної і легкої промисловості, оскільки сучасний рівень розвитку підприємств названих галузей може забезпечити та гарантувати випуск бездефектної продукції, а саме категорія сортності цієї продукції вже мало цікавить її споживачів.

3. Виявлено потребу у розробленні серії нових гармонізованих із Європейськими і міжнародними вітчизняних стандартів щодо формулювання та стандартизації вимог до різних видів безпечності текстильних матеріалів, а також норм, критеріїв і методів їх оцінювання замість застарілих стандартів колишнього СРСР.

Література

1. Коваленко М. А. Ринок технічного текстилю та роль держави в забезпеченні його розвитку / М.А. Коваленко, Г.Д. Безкровна // Теорія та практика державного управління і місцевого самоврядування : електронне наукове фахове видання. – Херсон : ХНТУ, 2013. – № 1. – 13 с.
2. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.
3. Артюх Т.М. Стан системи технічного регулювання одягу спеціального призначення в Україні / Т.М. Артюх, Л.І. Савицька // Вісник КНУТД. – 2015. – № 3(86). – С. 173–178.
4. Гарасим Ю.Й. Аналіз національної системи стандартизації ф сертифікації у контексті угоди про асоціацію України та ЄС / Ю.Й. Гарасим // Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. Серія: економічні науки. – 2015. – № 3(80). – С. 58–65.
5. Слізков А.М. Проблеми екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості і шляхи їх вирішення / А.М. Слізков, Н.І. Упірова // Вісник КНУТД. Серія "Технічні науки". – 2015. – № 2(84). – С. 221–226.
6. Катрич В. Безпечність взуття для дітей / В. Катрич // Товари і ринки. – 2012. – № 2. – С. 211–216.
7. Упірова Н.І. Шляхи розвитку екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості України / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, Л.А. Дмитренко // Вісник КНУТД. Серія "Технічні науки". – 2015. – 3(86). – С. 157–162.
8. Голінка І. Розвиток стандартизації на міжнародному, регіональному та національному рівнях / І. Голінка // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2009. – № 1. – С. 11–17.

Рецензія/Peer review : 28.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

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

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 № 7 від 28.1.2016 р.

Підп. до друку 28.1.2016 р. Ум.друк.арк. 19,63 Обл.-вид.арк. 25,53
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63