

**Науковий журнал**

**6.2006**

# **ВІСНИК**

**Хмельницького  
національного  
університету**

---

**Технічні науки**

**Хмельницький 2006**

**ВІСНИК**

**Хмельницького**

**національного**

**університету**

*Засновано в липні 1997р.*

*Виходить 6 разів на рік*

---

**Хмельницький, 2006, №6 (87)**

---

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

<b>Головний редактор</b>	<b>Скиба М.Є.</b> , заслужений працівник народної освіти України, академік УТА, професор, ректор Хмельницького національного університету
<b>Голова редакційної колегії</b>	<b>Сілін Р.І.</b> , заслужений працівник народної освіти України, академік МАІ, академік АІН України, академік УТА, д.т.н., професор
<b>Заступник головного редактора</b>	<b>Каплун В.Г.</b> , академік УТА, д.т.н., професор
<b>Відповідальний секретар</b>	<b>Гуляєва В.О.</b> , завідувач патентно-інформаційним відділом, Хмельницький національний університет

**Ч л е н и р е д к о л е г і ї**

*Технічні науки*

д.т.н. Кіницький Я.Т., к.т.н. Баннова І.М., д.т.н. Гладкий Я.М., к.т.н. Домбровський А.Б., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Калда Г.С., д.т.н. Камбург В.Г., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Костоґриз С.Г., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Мазур М.П., к.т.н. Мандзюк І.А., д.т.н. Мичко А.А., д.т.н. Мясичев О.А., д.т.н. Параска Г.Б., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Семенюк М.Ф., д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стечишин М.С., к.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шевеля В.В., д.т.н. Либа В.П., д.ф-м.н. Качурик І.І.

*Відповідальний редактор серії “Технічні науки”*      **Кіницький Я.Т.**, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор, Хмельницький національний університет

*Технічний редактор* Горященко К.Л.  
*Редактор-коректор* Броженко В.О.

**Адреса редакції:** Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, Хмельницький національний університет  
**редакція журналу “Вісник Хмельницького національного університету”**  
**☎ (8-03822) 2-51-08**  
**e-mail:** patent\_1@beta.tup.km.ua  
**web:** <http://visniktup.narod.ru>      <http://vestnik.ho.com.ua>  
[http://library.tup.km.ua/visnyk\\_tup.htm](http://library.tup.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 (перереєстровано)  
Бюлетень ВАК №2, 2006

© Хмельницький національний університет, 2006  
© Редакція журналу “Вісник Хмельницького національного університету”, 2006

## ЗМІСТ

<b>Я.Т. КІНИЦЬКИЙ, П.В. МІНЯЙЛО, М.В. МАРЧЕНКО</b> ЗНАХОДЖЕННЯ ТОЧОК ПЕРЕГІНУ ШАТУННОЇ КРИВОЇ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ .....	7
<b>А.Г. КУЗЬМЕНКО, В.Д. КАРАЗЕЙ, О.М. ПОЛУКРАВЕЦЬ</b> МЕХАНІКА ЗНОШУВАННЯ ВИРУБНИХ ШТАМПІВ (НАБЛИЖЕНИЙ ПІДХІД) .....	10
<b>Э.Ш. ДЖЕМИЛОВ, Н.А. ИЗЗЕТОВ, Ю.А. ЦЕХАНОВ, Ф.Я. ЯКУБОВ</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ .....	14
<b>И.Н. БЕЛЕЙ, А.А. ПЛИВАК, С.В. МАЙДАНЮК</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕР СТРУЖКИ .....	17
<b>Ю.Й. БЕСАРАБЕЦЬ, Д.О. КРАСНОВИД</b> ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МІТЧИКІВ НА ГЕОМЕТРІЮ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ В КІНЕМАТИЧНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ .....	21
<b>О.О. АБРАМОВ, В.В. ЗАВГОРОДНІЙ</b> ВТРАТИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ .....	27
<b>Ю.О. КАПУЧАК, С.С. КОВАЛЬЧУК, О.О. ПРОШИН, Н.О. ЯРЕЦЬКА</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ФОРМИ В ПОПЕРЕЧНОМУ ПЕРЕТИНІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ .....	32
<b>А.Е. ПРОВОЛОЦКИЙ, С.Л. НЕГРУБ</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛАСТИЧНЫМИ ПОЛИМЕР–АБРАЗИВНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ .....	35
<b>В.Н. ПАДЕРИН, А.В. ДУДКО</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ОБРАЗОВАНИЯ ПЛОТНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЬБЫ И ХАРАКТЕР ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЛИТЫХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДЕТАЛЕЙ ПНЕВМОАППАРАТУРЫ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ .....	40
<b>Э.Р. МЕНУМЕРОВ, Ч.Ф. ЯКУБОВ, И.Э. АМЕТОВ</b> О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОТС НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ .....	44
<b>І.М. РУДЬКО</b> ВПЛИВ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ НА СИЛОВІ ТА ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСУЧОГО КАНАТА ПІДВІСНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ УСТАНОВКИ .....	48
<b>В.М. ЛОКАЗІЮК, Є.Г. ГНАТЧУК</b> АЛГОРИТМІЗАЦІЯ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ .....	52
<b>О.В. ПОМОРОВА</b> ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ .....	58
<b>В.М. ЛОКАЗІЮК, О.В. ПОМОРОВА, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО</b> ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПОВТОРНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	65
<b>Ю.П. КЛЬОЦ</b> ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ БЕЗСЛОВНИКОВОГО ПОШУКУ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ .....	72
<b>В.Я. ЛЯШКЕВИЧ</b> ОЦІНКА КОРИСНОСТІ ТА ДОСТАТНОСТІ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ У СИСТЕМІ SIMULINK .....	77

<b>О.В. ІВАНОВ</b> ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ КОМУТАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ .....	85
<b>О.П. АДАМІВ</b> РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА СТРУКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ .....	91
<b>О.А. ПАСТУХ</b> ЧАСТКОВА МАТЕМАТИЧНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ КВАНТОВИХ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КВАНТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ (КВАНТОВИХ КОМП'ЮТЕРІВ) В РАМКАХ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ КВАНТОВИХ НЕЧІТКИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ – МНОЖИНИ $\Psi$ - КВАНТОВИХ НЕЧІТКИХ СЛІВ АЛФАВІТУ $\{0,1\}$ ТА УНАРНИХ ОПЕРАЦІЙ ЗАДАНИХ НА ЕЛЕМЕНТАХ $\Psi$ .....	97
<b>М.П. КАРПІНСЬКИЙ, Л.М. КОРКІШКО</b> УЗАГАЛЬНЕНИЙ АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ ПІДСТАНОВКИ НАД ДАНИМИ У МАСКОВАНОМУ ПОДАННІ .....	100
<b>Д.М. МЕДЗАТИЙ</b> ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ НЖМД .....	106
<b>І.І. МІТАСОВ</b> ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГУ ДАНИХ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ АНАЛІЗІ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ .....	110
<b>І.С. ЧУК, В.Д. БІДЮК</b> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАТЧИКІВ ВМІСТУ МАГНІТНОЇ ФРАКЦІЇ В РЕЧОВИНІ .....	117
<b>В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, Н.С. КРАВЧУК</b> ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ З РЕЗОНАНСНИМ КОНТУРОМ НА ОСНОВІ ДВОЗАТВОРНОЇ МДН-СТРУКТУРИ .....	120
<b>В.Т. КОНДРАТОВ, Л.А. СОРОКИНА</b> ИЗБЫТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	124
<b>М.М. ЧЕПУРНИЙ, К.В. НІКІФОРОВА</b> ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГТУ-ТЕС .....	129
<b>И.В. БИДЮК</b> ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ У ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДА .....	133
<b>О.О. ОВЧИННИКОВ., В.І. ГУДЗЬ</b> РОЗРАХУНОК ЗУБЧАСТОПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ З НАПІВКОЛОВИМ ПРОФІЛЕМ ЗУБЦІВ .....	138
<b>Б.Ф. ППА, В.В. ЧАБАН</b> ВИБІР ПАРАМЕТРІВ БЕЗШПОНКОВОГО З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЗМІВ МАШИН ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ З ВАЛОМ .....	140
<b>М.М. ЧЕПУРНИЙ, С.Й. ТКАЧЕНКО</b> АНАЛІЗ РОБОТИ ВИПАРНИХ АПАРАТІВ ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАКИПОУТВОРЕННЯ .....	143
<b>В.Ю. ТІТОВА</b> ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТИВНОГО ЧЕРГОВОГО В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ВНУТРІШНІХ СПРАВ .....	146
<b>С.Г. КОСТОГРИЗ, Ю.І. ШАЛАПКО</b> ПОСТІЙНЕ ТЕРТЯ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ В ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЯХ НОМІНАЛЬНО-НЕРУХОМИХ ФРИКЦІЙНИХ З'ЄДНАНЬ .....	150

<b>V.V. ROMANUKE</b> EXAMINING A SUBSET OF THE SET OF ALL THE GENERATED BINARY FUNCTIONS ORTHOGONAL SYSTEMS BY THE SYSTEM OF THE 32 FIRST ORDERED WALSH FUNCTIONS .....	155
<b>В.Г. КАМБУРГ, О.І. КУЛАКОВ, С.А. КАРВАН</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУМІШЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ .....	162
<b>О.О. ОВЧИННИКОВ, В.І. ГУДЗЬ</b> РОЗРАХУНОК ЗУБЧАСТОПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ З НАПІВКОЛОВИМ ПРОФІЛЕМ ЗУБЦІВ .....	166
<b>О.М. МАКОВКІН, Я.М. ГЛАДКИЙ, В.В. МИЛЬКО</b> ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ .....	168
<b>В.С. ПАВЛОВ</b> ВИБІР КРИТЕРІЮ МІЦНОСТІ В МАШИНОБУДУВАННІ .....	172
<b>В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ</b> КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЖЛИВИХ ШЕСТИЛАНКОВИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ, ЩО ПОБУДОВАНІ НА ОСНОВІ ДВОКРИВОШИПНИХ МЕХАНІЗМІВ .....	176
<b>Е.В. ЧЕПЕЛЮК, В.В. ЧУГИН</b> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОГО КУПОЛА ОТ ДАВЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВНЕШНЕЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ .....	180
<b>А.Л. СЛАВІНСЬКА., С.О. ВЕРХОМІЙ</b> АНАЛІЗ МЕТОДИК КОНСТРУЮВАННЯ ЧОЛОВІЧИХ СОРОЧОК ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЇХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ .....	185
<b>Н.В. КУДРЯВЦЕВА, О.М. МАТВІЙЧУК</b> СУЧАСНА АНТРОПОМЕТРИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХЛОПЧИКІВ СТАРШОЇ ШКІЛЬНОЇ ГРУПИ ГЕОГРАФІЧНОГО РЕГІОНУ ПОДІЛЛЯ .....	190
<b>О.А. ДІТКОВСЬКА, Н.В. КУДРЯВЦЕВА, В.В. ЛУК'ЯНОВА</b> ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ ЗМІН ПІДЛЕГЛИХ РОЗМІРНИХ ОЗНАК СУЧАСНИХ ФІГУР ДІВЧАТОК МОЛОДШОЇ ШКІЛЬНОЇ ГРУПИ ЗА РЕГРЕСІЙНИМ АНАЛІЗОМ .....	193
<b>О.В. РЕЗНІКОВА, М.Л. РЯБЧИКОВ</b> КОРЕЛЯЦІЙНІ ЗАЛЕЖНОСТІ БАЗОВИХ РОЗМІРНИХ ОЗНАК ДЛЯ ПОБУДОВИ ЛІКУВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ КОРСЕТІВ .....	198
<b>О.В. ЗАХАРКЕВИЧ, А.Л. СЛАВІНСЬКА</b> СПОСІБ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ПОБУДОВИ КОНСТРУКТИВНИХ ФОРМОТВОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ....	202
<b>В.П. МІСЯЦЬ, О.П. БУРМІСТЕНКОВ</b> АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ВІДХОДІВ ПОЛІМЕРІВ В РОТОРНИХ ДРОБАРКАХ .....	205
<b>А.В. ДОБРОВОЛЬСЬКА, О.П. СУМСЬКА</b> ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ БАРВНИКІВ ДЛЯ НАДАННЯ КОМПЛЕКСУ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИМ МАТЕРІАЛАМ .....	209
<b>Н.В. БІЛЕЙ-РУБАН, Л.Б. БІЛОЦЬКА</b> МАТЕМАТИЧНО-СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ: ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ .....	213
<b>С.В. МАТНЯК</b> ПРИБЛИЖЕННЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ И ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОСЕ С НАЧАЛЬНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ .....	216

<b>М.Ф. СТАРОДУБ, В.О. РОМАНОВ, Р.В. КОЧАН, А.О. САЧЕНКО, О.В. КОЧАН</b> ВИКОРИСТАННЯ БІОСЕНСОРІВ ДЛЯ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТИКИ ГОСТРИХ ВІРУСНИХ ІНФЕКЦІЙ І МІКОТОКСИКОЗІВ .....	223
<b>А.А. НЕСТЕР, О.В. РОМАНІШИНА</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МІДНІННЯ В УСТАНОВКАХ РЕГЕНЕРАЦІЇ .....	227

## ЗНАХОДЖЕННЯ ТОЧОК ПЕРЕГИНУ ШАТУННОЇ КРИВОЇ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ

У роботі наведено методику визначення положення точки перегину шатунної кривої кривошипно-повзунного механізму (КПМ), яку можна використати для синтезу прямолінійно-напрямних механізмів.

Важільні механізми мають значні переваги порівняно з механізмами, у складі яких є вищі кінематичні пари. Зокрема, їх можна безпосередньо використовувати як прямолінійно-напрямні механізми або проектувати на їх базі механізми із зупинкою вихідної ланки. В останньому випадку, як правило, використовуються кулачкові або мальтійські механізми. Заміна таких механізмів важільними дозволяє, зменшивши контактні напруження в кінематичних парах, підвищити міцність ланок та довговічність і надійність машин.

При проектуванні прямолінійно-напрямних механізмів використовують точки Болла. Загальна постановка задачі про знаходження цих точок розглядається в роботах [1, 2, 3], частково в [5, 6], детально вона розв'язана чисельно-аналітичним способом для шарнірного чотириланкового механізму та кривошипно-кулісного механізму в роботах [7, 8]. Точка Болла є особливою точкою шатунної площини, яка визначається як перетин кривої кругових точок із поворотним колом [3, 7, 8]. В околі цієї точки шатунна крива наближається до прямої лінії. Однак, як зазначено у роботі [2], для КПМ точкою Болла є центр повзуна  $B$  (рис. 1). Таким чином, кривою Болла для КПМ є траєкторія точки  $B$ , яка рухається по прямій – напрямній повзуна.

Із зазначеного випливає, що точка Болла КПМ не може бути використана для синтезу прямолінійно-напрямних механізмів, а тому в цій роботі використовується інша особлива точка шатунної площини – точка перегину, в околі якої шатунна крива також наближається до прямої лінії. Це дозволяє розширити межі застосування шарнірно-важільних чотириланкових напрямних механізмів та одержаних на їх базі шестиланкових механізмів із зупинкою вихідної ланки.

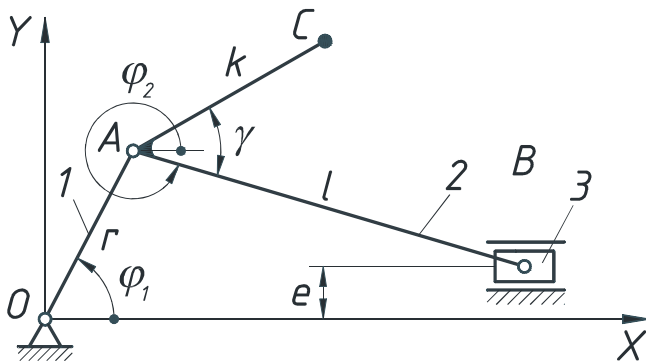


Рис. 1. Розрахункова схема механізму

Як відомо із курсу математики, радіус кривини кривої можна виразити через її кривину за допомогою формули:  $\rho = \frac{1}{K}$ , або навпаки –  $K = \frac{1}{\rho}$ . Як видно, у випадку, коли радіус кривини кривої (кола) приймає значення  $\rho = \infty$ , кривина рівна нулю ( $K = 0$ ). Тобто, коло вироджується у пряму лінію. Це означає, що точка, яка рухається по прямій, також може бути круговою точкою, оскільки пряма є дугою кола з нескінченним радіусом. Отже, кривошипно-повзунний механізм можна розглядати як шарнірний чотириланковий механізм з нескінченно великою довжиною коромисла [1]. Поступальний рух повзуна разом із шарніром  $B$  є обертанням навколо нескінченно віддаленої точки основи стояка.

Положення точки  $C$  у полярній системі координат (див. рис. 1), якщо задана точка  $A$ , визначається радіус-вектором  $AC$  (точка  $A$  – полюс,  $AB$  – полярна вісь). Для того, щоб спростити аналіз і синтез механізму, прийемо довжину шатуна  $AB$  рівною одиниці, тобто  $l_{AB} = l = 1$  [4]. Тоді довжини всіх інших ланок виразимо у відносних одиницях: довжина кривошипа  $r = l_{OA} / l$ , ексцентриситет  $e = l_{OB} / l$ . В результаті синтезу необхідно визначити величину відрізка  $k = l_{AC} / l$  та кут злому шатуна  $\gamma = \angle BAC$ , що відповідає положенню точки перегину при заданих початкових параметрах  $\phi_1$ ,  $r$  та  $e$ .

Слід зазначити, що для синтезу КПМ кількість початкових параметрів менша, ніж для кривошипно-коромислового механізму. Так, для дезаксіального КПМ змінними вихідними параметрами є довжина кривошипа  $r$  та величина ексцентриситету  $e$  (довжина шатуна приймається сталою і рівною одиниці:  $l_{AB} = 1$ ), а для центрального КПМ змінним вихідним параметром є лише довжина кривошипа  $r$  ( $e = 0$ ,

У науковій літературі [5, 6] основна увага приділяється центральному кривошипно-повзунному механізму, в якому напрямна повзуна 3 проходить через центр обертання кривошипа 1 (рис.1). В цій роботі розглядається як центральний так і зміщений (дезаксіальний) кривошипно-повзунний механізм.

Геометричним місцем точок перегину шатунної кривої є поворотне коло, яке залежить від положення кривошипа  $OA$  (кута  $\phi_1$ ). У кожній точці, що лежить на поворотному колі, кривина шатунної кривої рівна нулю.

$l_{AB} = 1$ ). В обох випадках значення кута  $\varphi_1$  змінюється в межах  $\varphi_1 = 0 \dots 2\pi$ .

Для знаходження положення точки перегину шатунної кривої, необхідно визначити кінематичні характеристики механізму.

Координати точки  $A$  кривошипа в системі координат  $XOY$ :

$$\begin{aligned} X_A &= r \cos \varphi_1; \\ Y_A &= r \sin \varphi_1. \end{aligned} \quad (1)$$

Кут нахилу шатуна  $AB$ :

$$\varphi_2 = \frac{\arcsin(e - r \sin \varphi_1)}{l}. \quad (2)$$

Координати точки  $B$ :

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + l \cos \varphi_2; \\ Y_B &= e. \end{aligned} \quad (3)$$

Для проведення синтезу напрямних механізмів необхідно визначити координати миттєвого центра швидкостей (МЦШ)  $P$  шатунної площини (рис. 2). Оскільки точки  $A$  і  $B$  належать шатунній площині, то точка  $P$  знаходиться як перетин перпендикулярів, які проведені з даних точок до напрямків відповідних швидкостей. Координати точки  $P$  можна знайти за допомогою формул:

$$X_P = X_B; \quad Y_P = X_P \operatorname{tg} \varphi_1. \quad (4)$$

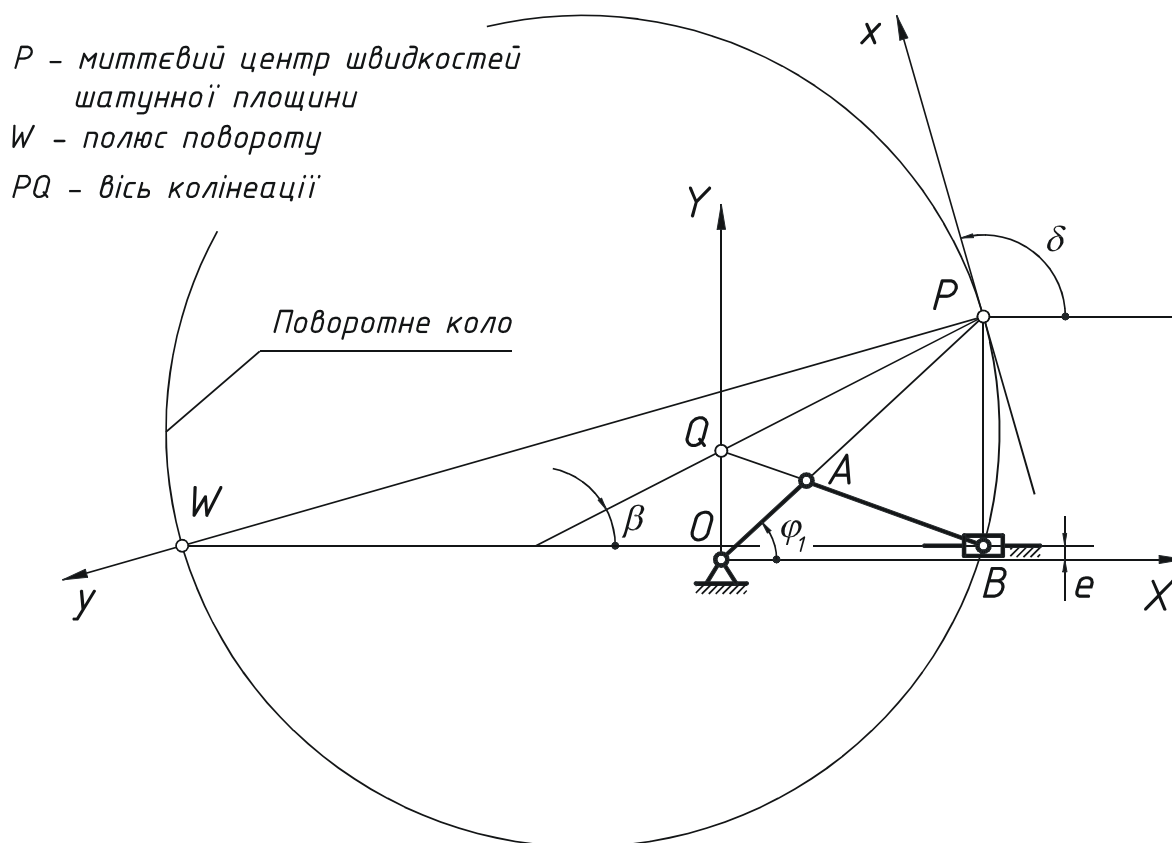


Рис. 2. Побудова поворотного кола

Для побудови поворотного кола застосуємо метод, який описано у роботі [3]. Після знаходження МЦШ  $P$  будемо вісь колінеації  $PQ$  (рис. 2). За теоремою Бобільє проводимо полюсну дотичну  $Px$ . Напрямок полюсної нормалі  $Py$  можна визначити з умови, що полюс повороту  $W$  повинен лежати на її перетині з лінією руху центра повзуна.

Координати точки  $Q$  (рис. 2) для КПМ визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} X_Q &= 0; \\ Y_Q &= \frac{Y_A X_B - Y_B X_A}{X_B - X_A}. \end{aligned} \quad (5)$$

Кут нахилу:

– осі колінеації



$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{Y_P - Y_Q}{X_P}, \quad (6)$$

– полюсної дотичної

$$\delta = \varphi_1 + \frac{\pi}{2} - \beta. \quad (7)$$

Діаметр поворотного кола

$$d = |PW|. \quad (8)$$

Рівняння поворотного кола в перетвореній системі координат  $xPy$ :

$$x^2 + y^2 - d \cdot y = 0. \quad (9)$$

Поворотне коло також може бути побудоване методом, описаним у роботі [8] для кривошипно-кулісного механізму. Він базується на застосуванні методу додаткових груп для графічного знаходження швидкості переміщення точки  $P$  (рис. 2) [3].

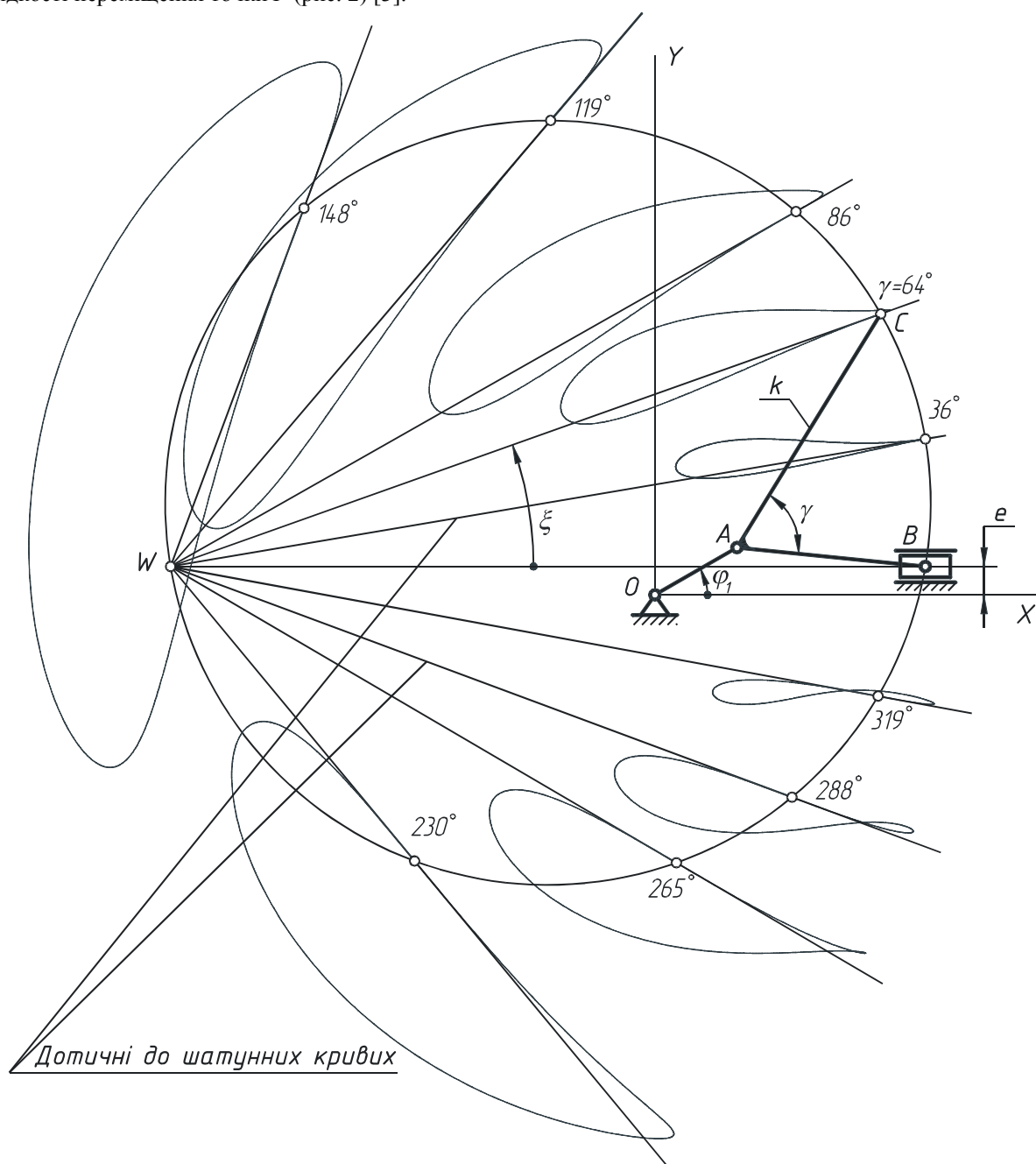


Рис. 3. Шатунні криві кривошипно-повзунного механізму

На рис. 3 показані приклади шатунних кривих КПМ, побудованих у різних положеннях на поворотному колі точки  $C$  (при заданому куті  $\varphi_1$  повороту кривошипа  $OA$ ).

Довжина відрізка  $k=l_{AC}$  шатуна та кут його нахилу рівні:

$$k = \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2}; \quad (10)$$

$$\gamma = \frac{180}{\pi} \left[ 2\pi - \varphi_2 + \operatorname{arctg} \left( \frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A} \right) \right]. \quad (11)$$

При проектуванні механізмів важливим параметром є кут  $\xi$  нахилу прямолінійної ділянки шатунної кривої (рис. 3). Відомо [3], що всі точки рухомої площини, які описують прямі лінії, лежать на поворотному колі, причому всі ці прямі повинні проходити через полюс повороту  $W$ .

Отже,

$$\xi = \operatorname{arctg} \left( \frac{Y_W - Y_C}{X_W - X_C} \right). \quad (12)$$

Треба зазначити, що деякі механізми із зупинкою вихідної ланки, синтезовані на основі таких прямолінійно-напрямних механізмів, мають вистій у проміжному положенні вихідної ланки.

Отже, на основі викладеного матеріалу можна зробити наступні висновки.

Для синтезу прямолінійно-напрямних механізмів на базі кривошипно-повзунного механізму не може бути використана точка Болла, а тому для розв'язання цієї задачі можна використовувати точки перегину шатунної кривої, які належать поворотному колу.

Наступним етапом подальших досліджень буде розрахунок тривалості та точності зупинки вихідної ланки, під'єднаної до шатуна 2 структурної групи, та основних кінематичних і динамічних параметрів руху ланок механізму [4, 7, 8].

### Література

1. Артоболевский И.И., Левитский Н.И., Черкудинов С.А. Синтез плоских механизмов. – М.: Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. Артоболевский И.И., Блох З.Ш., Добровольский В.В. Синтез механизмов. – М. – Л.: Гостехиздат, 1944. – 387 с.
3. Геронимус Я.Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов. – ГИФМЛ, 1962. – 399 с.
4. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена. – К.: Вища школа, 1990. – 231 с.
5. Надеждин И.В. К синтезу прямолинейно-направляющих кривошипно-ползунных механизмов // Теория механизмов и машин. – 1984. – Вып. 37. – С. 13-18.
6. Надеждин И.В. Проектирование прямолинейно-направляющих кривошипно-ползунных механизмов. – Изв. вузов. Машиностроение. – 1979. – № 12. – 26 с.
7. Харжевський В.О, Кіницький Я.Т. Чисельно-аналітичний метод синтезу важільних механізмів з зупинкою вихідної ланки на базі несиметричного шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Болла // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 4. – С. 43-54.
8. Кіницький Я.Т., Марченко М.В. Побудова кривої Болла шатунної площини кривошипно-кулісного механізму // Вісник ХНУ. – 2005. – № 6, Т.2. – С. 24-28.

Надійшла 27.10.2006 р.

УДК 621.9.02

А.Г. КУЗЬМЕНКО, В.Д. КАРАЗЕЙ, О.М. ПОЛУКРАВЕЦЬ  
Хмельницький національний університет

## МЕХАНІКА ЗНОШУВАННЯ ВИРУБНИХ ШТАМПІВ (НАБЛИЖЕНИЙ ПІДХІД)

*Стаття присвячена розробці математичної моделі процесу зношування штампного інструменту при операціях вирубаня листового матеріалу з метою визначення параметрів моделі зношування.*

### Постановка задачі

Відомі різні методи підвищення зносостійкості штампів: застосування різноманітних мастильно-охолоджувальних матеріалів, вибір оптимальної величини зазору, вибір матеріалів для робочих деталей штампа та ін. Для різноманітних способів підвищення зносостійкості штампів необхідні оцінки їх ефективності. Визначити достовірно зносостійкість штампа можна тільки експериментально, але при безлічі факторів, що впливають на зношування, оцінка зносостійкості може бути не точною.

Для попередження зношування необхідно попередньо вивчити його механізм (макромеханіку) і провести необхідний розрахунок. Розрахунок на зношування – це реалізація математичних моделей процесів

зношування об'єктів дослідження.

При проектувальних розрахунках наявність моделей дозволяє визначити параметри конструкції, що забезпечують мінімальний знос і максимальну надійність у заданих умовах.

Визначення параметрів моделі зношування є однією з головних задач експериментальної трибології і до тих пір, поки не отримано достовірних даних про параметри моделей зношування, фактично відсутня змога описувати кількісні закономірності при зношуванні, тобто, відсутня наукова основа опису процесу зношування.

В зв'язку з тим, що в сучасному машинобудуванні застосовуються та впроваджуються нові матеріали (фрикційні, антифрикційні) для різних вузлів тертя, необхідні великі затрати на випробовування якостей кожного з них, його поведінки при різних умовах експлуатації, отже, необхідна велика кількість коштів і часу на виготовлення дослідних пристроїв. Визначення параметрів моделей зношування таких матеріалів, при заданих умовах експлуатації, дає змогу прогнозувати поведінку матеріалу, а також розраховувати ресурс різального інструменту. Для визначення параметрів моделі зношування використовують різні схеми контакту пар тертя: клин-площина; куля-площина; циліндр-площина; перехресні циліндри, клин-циліндр. Так як процес вирубання прямокутним пуансоном є взаємодія клину та площини, то найдоцільніше використовувати схему контакту клин – площина.

Отже, основною ціллю даної роботи є:

1. Описати механіку процесу зношування штампа.
2. Дати спосіб визначення параметрів моделі зношування.

#### Аналіз досліджень і публікацій

В даний час основними способами визначення стійкості штампів для розділювальних операцій являються експериментальні дослідження, а також узагальнення виробничого досвіду [1].

В процесі вирубання листового металу виникає складне неоднорідне силове поле, яке концентрується поблизу різальних кромки пуансона і матриці. Пуансон зазвичай втискується в листову заготовку не по всій торцевій поверхні, а лише по кільцевому (або іншої форми) пояску шириною  $b$  [2]. Таке ж вдавлювання виникає і зі сторони матриці. Величина пояска  $b$  залежить від товщини матеріалу, який вирубється, а також від величини технологічного зазору  $z$ . Отже,  $b = z + 0,24 \cdot S$ , де  $S$  – товщина полоси, що вирубється [3]. Але при розрахунку величини пояска  $b$  не враховуються властивості матеріалу, що не дає змоги більш точно прогнозувати величину площадки дії тисків зі сторони полоси, що вирубється на різальний інструмент штампу. Тиски пуансона і матриці по ширині пояска розподілено не рівномірно, як показано на рис. 1.

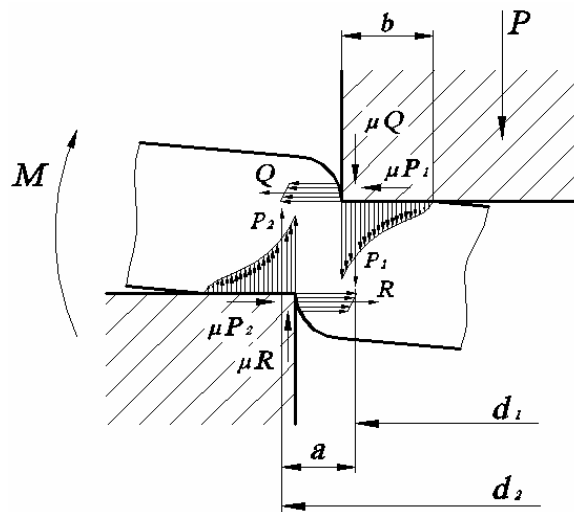


Рис. 1. Схема сил, що діють на заготовку в процесі вирубання

Вони можуть бути замінені рівнодійними питомих зусиль  $P_1$  і  $P_2$ , що приходяться на одиницю довжини контуру, діаметром  $d_1$  і  $d_2$ .

Таким чином при вирубанні – пробиванні виникає пара сил  $P_1$  і  $P_2$  з плечем  $a$ , що утворюють крутний момент  $M$ , під дією якого відносно тонка заготовка згинається. В результаті згину заготовки виникає тиск металу на зовнішню поверхню пуансона і розпираючі тиски на кромки матриці (на рис.1 показані реактивні питомі зусилля  $Q$  і  $R$ ). Крім нормальних сил на поверхню заготовки діють дотичні зусилля, які утворені силами тертя ( $\mu P_1$ ,  $\mu Q$ ,  $\mu P_2$ ,  $\mu R$ ).

При розрахунково – аналітичному методі автори [2-4] приводять різні розрахункові формули для визначення стійкості вирубних – пробивних штампів. Але розрахунок стійкості за даними формулами має недолік, який полягає в тому, що дані формули були виведені для конкретних умов і не можуть враховувати всю сукупність конструктивно – технологічних факторів. Тому на практиці залежно від характеру і умов виробництва в різних галузях промисловості користуються дослідно-статистичними даними, на підставі яких отримані норми стійкості як до переточування, так і до повного зношування [5].

#### Виклад основного матеріалу досліджень

Розглядається штамп для вирубання прямокутних отворів розміром  $B$  в тонкому листі товщиною  $h$ . На дану ділянку діє сила  $Q$ .

В процесі експлуатації різальні кромки пуансона вирубного штампа зношуються з торцевої та бокової сторони, в результаті чого різальна кромка затупляється і якість деталі погіршується.

1. Механіка зношування підшви штампа (торцевої поверхні пуансона).

1<sup>0</sup>. Функція розподілення тисків і розмір площадки контакту

При вдавлюванні штампа з гострими різальними кромками в пружне напівсередовище, шар або смугу, на різальних кромках робочих деталей штампа виникають тиски, близькі до нескінченності (рис. 2).

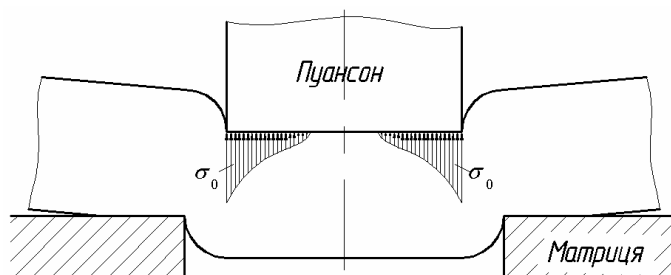


Рис. 2. Тиски, які діють на робочу торцеву частину пуансона зі сторони заготовки

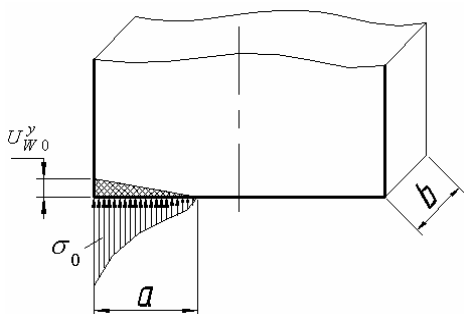


Рис. 3. Схема дії тисків на торцеву поверхню пуансона зі сторони смуги матеріалу, що вирубастся

В реальному матеріалі при штампуванні на кромках створюються умови для пластичного деформування.

Тиски на кромках при пластичному деформуванні не можуть перевищувати твердість матеріалу який штампується.

Розмір області підшви штампа, на які діють тиски при штампуванні, прийемо рівними розміру  $a$  кромки, що зношується (рис. 3).

2<sup>0</sup>. Розмір площадки контакту.

Вважаємо, що розмір  $a$  в процесі зношування не змінюється, а збільшується тільки величина зношування  $U_{y0}^y$ .

Приймаємо  $\sigma_0 = HB$  і зношування підшви штампу відповідає закону трикутника, величину  $a$  можна визначити з умови рівноваги:

$$Q = \frac{1}{2} HB \cdot a \cdot b \Rightarrow a = \frac{2 \cdot Q}{HB \cdot b}, \tag{1.1, 1.2}$$

де  $b$  – розмір (ширина) різальної кромки пуансона штампа, мм.  
 $a$  – розмір площадки контакту, мм.

3<sup>0</sup>. Шлях тертя різальної кромки по заготовці  $Q$ .

Найбільш невизначеною в дослідженнях процесу зношування являється величина взаємного проковзування підшви штампа по заготовці в напрямку осі  $x$  (площина підшви) в точці з найбільшим навантаженням.

Прийемо, що за експериментальними даними величина пластичного переміщення поверхні деталі при штампуванні  $U_{P0}$  (рис. 4). Цьому переміщенню буде відповідати деформація по осі  $x$ :

$$\varepsilon_x = \frac{U_{x0}}{a} \tag{1.3}$$

Деформація по осі  $y$  заготовки:

$$\varepsilon_y = \frac{U_{y0}}{h} \tag{1.4}$$

Між цими деформаціями існує залежність Пуассона:

$$\varepsilon_x = \mu \cdot \varepsilon_y, \tag{1.5}$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Підставивши (1.3), (1.4) в (1.5) отримаємо:

$$\frac{U_{x0}}{a} = \mu \cdot \frac{U_{y0}}{h}. \tag{1.6}$$

Звідси визначаємо величину відносного проковзування по осі  $x$  штампа по заготовці:

$$U_{x0} = \frac{\mu \cdot a}{h} U_{y0} \tag{1.7}$$

або з врахуванням співвідношення (1.2)

$$U_{x0} = \frac{\mu \cdot 2 \cdot Q}{b(HB) \cdot h} U_{y0}. \tag{1.8}$$

Формула (1.7) і є шлях тертя для різальної кромки штампа в напрямку осі  $x$  (рис. 3).

4<sup>0</sup>. Прийемо, що модель зношування штампа по заготовці описується залежністю:

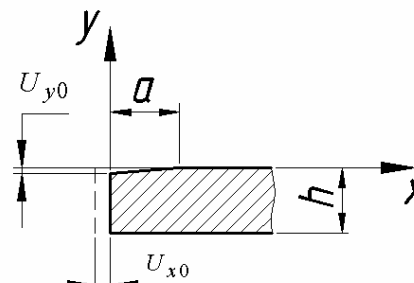


Рис. 4. Схема впливу деформацій зі сторони полоси вирубасмого матеріалу по осях  $x$  і  $y$

$$\frac{dU_w^y}{dS} = K_w \cdot \sigma_0, \quad (1.9)$$

де  $K_w$  – параметр моделі зношування.

Тиск вважаємо постійним і рівним твердості матеріалу заготовки. Тоді за один цикл:

$$\left(U_{w0}^y\right)_1 = K_w \cdot HB \cdot S, \quad (1.10)$$

де  $S = U_{x0}$  по формулі (1.8)

або

$$\left(U_{w0}^y\right)_1 = \frac{K_w \cdot (HB) \cdot 2 \cdot Q \cdot U_{y0}}{b \cdot (HB) \cdot h} = 2 \frac{K_w \cdot Q \cdot U_{y0}}{b \cdot h}, \quad (1.11)$$

$$\left(U_{w0}^y\right)_1 = 2 \frac{K_w \cdot Q \cdot U_{y0}}{b \cdot h}, \quad (1.12)$$

5<sup>0</sup>. При наявності даних про зношування різальної кромки підошви (торцеве зношування)  $\left(U_{w0}^y\right)_1$  можна визначити величину коефіцієнта інтенсивності зношування  $K_w$ :

$$K_w = \frac{\left(U_{w0}^y\right)_1 \cdot b \cdot h}{2 \cdot Q \cdot U_{y0}}, \quad (1.13)$$

З експерименту зазвичай відома величина зношування за  $N$  циклів, тому в даному випадку:

$$\left(U_{w0}^y\right)_1 = \frac{U_{w0}^y}{N}, \quad (1.14)$$

6<sup>0</sup>. Експериментальні дані:

$U_{w0}^y$  – зношування підошви (торця – по осі  $y$ ) за  $N$  циклів.

$U_{y0}$  – максимальна пластична осадка кромки (виробу).

$Q$  – навантаження на різальну кромку.

$b$  – ширина різальної кромки.

$h$  – товщина полоси що вирубається.

2. Механіка зношування бокової поверхні штампу.

1<sup>0</sup>. Тиск на бічну поверхню штампа (рис. 5) в першому наближенні приймаємо також рівним твердості матеріалу заготовки:

$$\sigma_0^x = HB.$$

2<sup>0</sup>. Шлях  $S_y$  тертя робочої кромки штампа в співвідношенні з експериментальними осцилограмами приймаємо наближено рівним:

$$\left(S_y\right)_1 = \frac{h}{2} \quad (2.1)$$

3<sup>0</sup>. Зношування за один цикл в відповідності з моделлю зношування (1.9):

$$\frac{dU_w^y}{dS} = K_w \cdot \sigma_0, \quad (2.2)$$

або

$$\left(U_{w0}^x\right)_1 = K_w \cdot HB \cdot \frac{h}{2}, \quad (2.3)$$

Звідси випливає, що параметр моделі зношування:

$$K_w = \frac{2 \cdot \left(U_{w0}^x\right)_1}{h \cdot HB}, \quad (2.4)$$

де  $\left(U_{w0}^x\right)_1 = \frac{U_{w0}^x}{N}$ .

5<sup>0</sup>. Експериментальні дані:

$U_{w0}^x$  – зношування бічної поверхні штампа, за  $N$  циклів.

$HB$  – твердість матеріалу полоси.

$h$  – товщина смуги що вирубається.

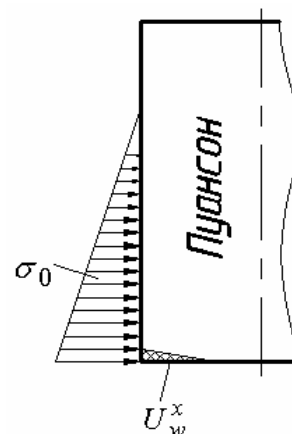


Рис. 5. Розподіл тисків на бічну поверхню штампа

**Висновки**

Розроблено математичну модель процесу вирубання (наближений підхід), що дозволяє змінюючи вихідні дані процесу різання листового матеріалу в штампах (твердість матеріалу, що обробляється, товщина, зусилля вирубання) розрахувати параметри моделі зношування та зробити прогнозування стійкості штампового інструменту. Це значно зменшує витрати на дослідження штампового інструменту та дає можливість економії часу, енергетичних та інших затрат.

**Література**

1. Михаленко Ф.П. Стойкость разделительных штампов. – М.: Машиностроение, 1976, 208 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Ленингр. Отд – ние, 1979. – 520с.
3. Романовский В.П. Пробивка и вырубка толстолистовой стали в холодном и горячем состоянии. – Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 7.
4. Вайнтрауб Д.А. Повышение стойкости штампов (для холодной штамповки). Л.: Лениздат, 1958, 130с.
5. Кухтаров В.И. Стойкость штампов для холодной листовой штамповки. – М.: Машгиз, 1958, 90с.

Надійшла 14.10.2006 р.

УДК 621.923.5

Э.Ш. ДЖЕМИЛОВ, Н.А. ИЗЗЕТОВ, Ю.А. ЦЕХАНОВ, Ф.Я. ЯКУБОВ

Республиканское высшее учебное заведение  
«Крымский инженерно-педагогический университет»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ**

*В статье рассматривается характер контакта бруска с обрабатываемой деталью при хонинговании конических отверстий. Разработан способ определения контактных давлений в любой момент технологической операции методом тензометрии, позволяющий выявить причины неравномерного съема припуска и неравномерного износа инструмента.*

Процесс контактирования алмазно-абразивного инструмента с деталью рассматривается как взаимодействие двух дискретных поверхностей. Контакт реальной рабочей поверхности алмазного бруска с обрабатываемой поверхностью при коническом хонинговании осуществляется при переменной площади контакта и количества участвующих в резании зерен и образования зазора между деталью и бруском.

Для равномерного съема припуска в процессе хонингования необходимо обеспечивать равномерное распределение контактного давления между инструментом и деталью. Теоретическое решение такой задачи математически сложно. Поэтому экспериментальное изучение контактных давлений в реальном процессе хонингования является наиболее эффективным способом исследований о влиянии на них технологических и конструктивных факторов.

Характер взаимодействия алмазного бруска (инструмента) с деталью при хонинговании конических поверхностей отверстий в статике близок по характеру контакта при внутреннем шлифовании, т.к. в обоих случаях контактируют диаметрально противоположные поверхности в системе «вал– отверстие» при неравных радиусах.

Механика взаимодействия алмазного бруска с обрабатываемой поверхностью при хонинговании конических поверхностей отверстий также отличается от характера контакта инструмента с деталью при внутреннем шлифовании, т.к. отношение радиусов контактных поверхностей (инструмента и детали) постоянно меняется.

Рассмотрение различных теорий контакта двух дискретных поверхностей при ранее проведенных исследованиях и знакомство с литературой [1, 2, 3, 4, 5] показало, что хонингование конических поверхностей отверстий недостаточно изучено, несмотря на то, что конические сопряжения широко распространены в машиностроении. По рекомендациям исследований при хонинговании цилиндрических отверстий каждый комплект брусков с хонголкой перед началом работы шлифуется по окружности с радиусом  $r_{бр} = 0,9 r_{отв}$  (здесь  $r_{бр}$  – радиус брусков;  $r_{отв}$  – радиус отверстия). Принцип начала приработки брусков при хонинговании конических поверхностей отверстий такой же, как и при цилиндрическом. Однако, в процессе осуществления возвратно-поступательного движения брусков вдоль образующей конического отверстия, их поверхности находятся в непрерывном контакте (рис. 1).

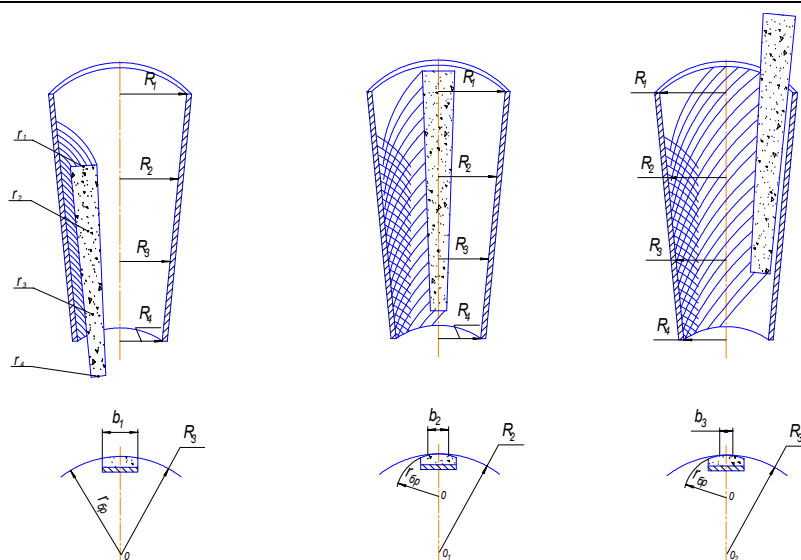


Рис. 1. Схема изменения ширины контакта брусков с деталью

Из рис. 1 видно, что при перемещении бруска от малого диаметра отверстия к большему диаметру ширина контакта с обрабатываемой поверхностью уменьшается, т.е.  $b_1 > b_2 > b_3$ . Во избежании заклинивания инструмента при перемещении вниз по образующей обрабатываемой поверхности, необходимо каждый новый комплект брусков перед началом работы установить в нижнее крайнее положение (полный выход брусков из меньшего диаметра отверстия на заданную величину перебега) и шлифовать их в сборе под заданным углом конусности.

Распределение контактных давлений  $p$ , МПа по поверхности бруска в диаметральной окружном направлении определяется из геометрических соображений по характеру изменения припуска (глубины резания) в этом направлении. Рассмотрим положение инструмента, когда радиус отверстия  $R_{отв}$  больше радиуса окружности, проходящей через вершины алмазных зерен  $R_3$  (рис. 2).

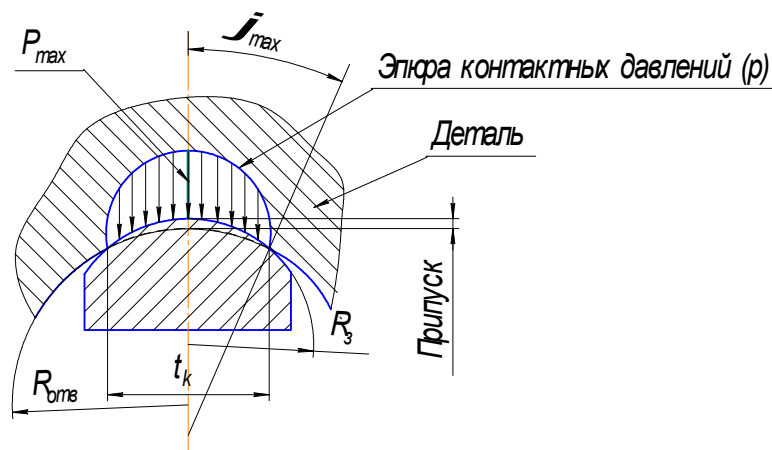


Рис. 2. Схема распределения контактных давлений в окружном направлении.

Из рисунка видно, что глубина врезания алмазных зерен плавно меняется от нуля (на концах ширины контакта  $t_k$ ) до максимума (на его середине). Контактные давления можно описать симметричной функцией:

$$p = p_{\max} \cdot f(\varphi). \quad (1)$$

В соответствии с эпюрой контактных давлений приведем  $p$  к линейной равнодействующей вдоль оси бруска, т.е. линейной распределенной нагрузке  $q$ , Н/м:

$$q = 2 \int_0^{\varphi_{\max}} p \cdot R_3 \cdot d\varphi = 2 \cdot p_{\max} \int_0^{\varphi_{\max}} f(\varphi) \cdot d\varphi = 2 \cdot p_{\max} \cdot \psi(\varphi_{\max}), \quad (2)$$

где  $\psi$  - функция от  $\varphi_{\max}$ .

Рассмотрим характер изменения  $q$  вдоль алмазного бруска (рис. 3).





причины, вызывающие неравномерность съема припуска и неравномерность износа инструмента, разработать рекомендации по их устранению.

### Литература

1. Фрагин И.Е. О сущности явлений в контакте хонинговального бруска и обрабатываемой детали // Физика и химия обработки материалов. – 1975. – № 5. – С. 96-100.
2. Фрагин И.Е., Сафронов В.Г. Исследование процесса хонингования. – М.: НИИМАШ, 1965. – 178 с.
3. Чеповецкий И.Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. – К.: Наукова думка, 1978. – 224.
4. Рудзит Я.Н. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей. – Рига: Зинатне, 1975. – 214 с.
5. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. – М.: Наука, 1970. – 226 с.

Надійшла 25.10.2006 р.

УДК 621.942.02

И.Н. БЕЛЕЙ, А.А. ПЛИВАК, С.В. МАЙДАНЮК  
НТУ Украины «Киевский политехнический институт»

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕР СТРУЖКИ

*Рассмотрены значения конструктивных и геометрических параметров СМП для чистовой обработки различных производителей, а также рекомендации по характеристикам оценки форм стружек, полученных при резании этими пластинами. Приведены результаты экспериментального исследования влияния формы режущей части пластины на процесс стружкодробления при чистовой обработке Сталей 45.*

### Введение

Актуальность вопросов чистовой обработки резцами с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП) в настоящее время все более усиливается. Одним из параметров, определяющим качество резцов для чистовой обработки, является их надежное стружкодробление. Выпускаемая в СНГ продукция значительно уступает по характеристикам стружкодробления мировым аналогам. В этой связи поставлена задача сравнительного анализа конструктивных и геометрических параметров многогранных пластин различных фирм производителей [1 – 4] с позиции надежного стружкодробления. Эта работа выполнялась по заданию компании «Проминструмент», входящей в холдинговую компанию «Мегапром».

### Особенности стружкообразования при точении

В зависимости от режимов резания, свойств обрабатываемого материала, геометрии резца стружка может быть разной по форме. Так, при точении хрупких металлов образуется так называемая стружка надлома. При малых скоростях резания и сравнительно больших подачах получается элементная стружка, состоящая из отдельных, не связанных между собой блоков. В этих случаях вопрос по дроблению стружки не возникает. При чистовой обработке вязких металлов с малыми подачами и большими скоростями при неправильной конструкции передней поверхности резца отдельные элементы стружки не образуются. Образуется сплошная или сливная стружка. К этой группе материалов относятся рассматриваемые нами конструкционные и легированные стали.

Оптимальной формой стружки следует считать цилиндрическую или коническую спираль в виде отдельных отрезков. Группы качественной оценки формы стружки применительно к конкретным условиям обработки [5] представлены в табл. 1.

Таблица 1

Группы качественной оценки формы стружки

Качественная оценка формы стружки	Форма стружки		
	Для индивидуального и серийного производств	Для массового производства	
		при поточных линиях	при автоматических линиях
Оптимальная	Спиральная отрезками длиной 50 – 150 мм	Спиральная отрезками длиной 30 – 80 мм	Спиральная отрезками длиной 30 – 80 мм
Хорошая	Крупнодробленая в виде колец и полуколец	Крупнодробленая в виде колец и полуколец	Крупнодробленая в виде колец и полуколец
Удовлетворительная	Непрерывная спиральная	Непрерывная спиральная	Мелкодробленая

### Анализ конструктивных элементов пластин

Для решения задачи по способности получения дробленой стружки при резании необходимо провести анализ конструктивных элементов пластин с целью оценки их стружкодробящей характеристики.

Рассмотрим конструктивные элементы пластин, предназначенные для стружкодробления. Наиболее распространенной и простой формой стружколомающего элемента пластин является радиусная лунка. Проходя по передней поверхности пластины, стружка завивается, но как только она встречает на своем пути преграду, дальнейшее свободное движение ее прекращается. Упираясь своим концом в преграду, стружка подвергается действию изгибающей силы, в результате происходит ее разгибание и ломание. Стружкозавивание происходит в том случае, когда стружка своим концом не упирается в обрабатываемую деталь или в поверхность резца.

Основные геометрические параметры лунки: ширина фаски  $f$ , глубина лунки  $h$  и радиус дна лунки  $R$ .

Ширина фаски  $f$ . Установлено, что надежное ломание и завивание стружки обеспечивается тогда, когда ширина фаски  $f$  не превышает половины толщины стружки. В табл. 2 приведены значения оптимальной ширины фасок для чистовой обработки с подачей 0,07 – 0,15 мм/об [5].

Таблица 2

#### Значения оптимальной ширины фаски для различных сталей

Марка стали	10		20Х		12ХН3А		30ХГТ		45		ШХ15	
Твердость, НВ	118		137		179		217		196		240	
Скорость резания, м/мин	<	>	<	>	<	>	<	>	<	>	<	>
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ширина фаски, мм	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Формула для определения ширины фаски  $f$  выглядит так [5]:

$$f = \frac{s \cdot \zeta_a \cdot \sin \varphi}{2},$$

где  $s$  – подача, мм/об;

$\zeta_a$  – поперечная усадка стружки;

$\varphi$  – главный угол в плане.

Таким образом, фаска играет роль элемента упрочняющего режущую кромку, а наличие положительного переднего угла на главной передней поверхности снижает работу деформации и трения и, следовательно, силу резания, что положительно сказывается на условиях работы.

Глубина лунки  $h$ . При исследовании получено, что надежное завивание и ломание стружки достигается при глубине 0,15 – 0,25 мм [5].

Радиус закругления дна лунки  $R$ . Стружка, попадая в лунку, подвергается принудительному изгибу, что вызывает повышение температуры и усилий при резании. С увеличением радиуса дна лунки процесс резания облегчается, но при этом соответственно увеличивается радиус завивания. Тогда ломаная стружка переходит в витую спиральную, а затем в прямую лентообразную.

В результате исследований [5] была установлена общая закономерность, согласно которой максимально допустимый радиус закругления дна лунки зависит от толщины стружки. С увеличением толщины стружки увеличивается и максимально допустимый радиус. Ниже приводится табл. 3 выбора максимального радиуса в зависимости от ширины фаски  $f$ .

Таблица 3

#### Значение величины радиуса $R$ в зависимости от ширины фаски $f$

$f$ , мм	0,05 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 0,8
$R$ , мм	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0

В работе рассматриваются пластины Sandvik Coromant (SC), Widia и Кировградского завода твердых сплавов (КЗТС). Чертежи режущей части пластин SNMG 120408-PF производства SC, SNMG 080404-4 – Widia и SNMM 120408 – КЗТС представлены на рис. 1, 2 и 3.

Геометрия пластин изображенных на рис. 1 и 2 относится к чистовой обработке. Завод КЗТС выпускает многогранные пластины двух геометрий передней поверхности. Анализируя геометрические параметры режущей части этих пластин КЗТС можно предположить оптимальное использование пластины SNMM 120408 (рис. 3) при полустовой обработке, а SNUM 120408 при черновой.

В табл. 4 представлены основные геометрические параметры режущей части рассматриваемых пластин.



еще так называемый «министружколом», представляющий собой небольшую замкнутую лунку. Например, геометрия – PF у Sandvik Coromant [2] и геометрия – 4 у Widia [4]. Целесообразно применение таких пластин для точения по копиру и на токарных станках с программным управлением, где требуется надежное дробление стружки при работе с разными значениями подач и глубин резания на различных участках одной и той же детали. Также пластины для чистовой обработки имеют наклонную режущую кромку (геометрия – PF Sandvik Coromant) или криволинейную (геометрия – 4 Widia), для отвода сходящей стружки в сторону необработанной поверхности.

Таблица 4

**Основные геометрические параметры режущей части пластин**

Производитель	Sandvik Coromant	Widia	КЗТС
Обозначение пластины	SNMG 120408-PF	SNMG 080404-4	SNMM 120408
Ширина фаски, мм	0,07	нет	0,27
Угол наклона фаски, °	4	нет	3
Передний угол, °	17	25 (угол между горизонтальной плоскостью и касательной к криволинейной поверхности)	10
Угол наклона режущей кромки, °	- 5° 30'	криволинейная с радиусом 32 мм	0
Глубина лунки, относительно кромки, мм	0,08	0,11	0,11
Глубина лунки, относительно опорной поверхности, мм	0,185	0,26	0,11
Радиус закругления дна лунки, мм	1,6	2,65	4,2

Как мы отметили выше, предположительно геометрия пластины SNMM 120408 относится к получистовой, а пластины SNMG 120408 – к черновой, но пластины с этими геометриями производства КЗТС применяется при всех видах токарной обработки, изменяется только режущий материал. Пластин с геометрией передней поверхности для чистовой обработки на данный момент в номенклатуре изделий предприятия нет. Исходя из табл. 4, сделаем предположение, что при применении пластин SNMM 120408 при чистовой обработке необходимо уменьшить значение фаски с 0,3 мм до 0,08...0,1 мм, а также ввести отрицательное значение угла наклона режущей кромки. Данное значение фаски и отрицательного угла мы видим на пластине для чистовой обработки Sandvik Coromant с геометрией передней поверхности – PF.

**Экспериментальное исследование стружкодробления**

Для испытания выбраны пластины SNMG 120408-PF производства Sandvik Coromant и SNMM 120408 – КЗТС с геометрией в стадии поставки. Была использована державка PSSN R 2020K12 с такими первоначальными геометрическими параметрами:  $\gamma = -8^\circ$ ;  $\lambda = 0$ ;  $\phi = 45^\circ$  и выбраны режимы резания из каталогов [1, 2] для данного типа пластин (оптимальные режимы выделены). Результаты испытания приведены в таблицах 5 и 6. Как мы видим, пластины КЗТС при чистовой обработке не дробят стружку (проходы 1 – 3), при этом пластины Sandvik Coromant выполняют надежное стружкодробление (проходы 4 – 6).

Сделанное нами допущение о необходимости уменьшения значения фаски при чистовой обработке мы выполним после операции подточки задней поверхности пластины SNMM 120408 до значения фаски 0,08 мм. Угол наклона режущей кромки  $\lambda = -5^\circ$  получим подложив под режущую пластину опорную с необходимым углом. При применении пластины после корректировки при тех же режимах резания мы получили дробленую стружку в виде полукольца с диаметром 4 – 5 мм (проход 7).

Таблица 5

**Режимы резания при обработке Стали 45**

Произв.	Обозначение пластины	Материал пластины	Наличие СОЖ	Режимы резания								
				№	Диам., мм	Ожидаемая стойкость, мин	Глубина резания, мм	Подача, мм/об	Ориент. скорость резания, м/мин	Частота вращ., об/мин	Реальная скорость резания, м/мин	
Геометрия пластин в стадии поставки												
КЗТС	SNMM 120408	T15K6	нет	1	73,7	-	0,8	0,21	250	1000	231,42	
				2	73,2	-	0,4	0,17	312,5	1250	287,31	
				3	72,2	-	0,4	0,17	350	1600	362,73	
Sandvik	SNMG 120408 – PF	4025	нет	4	75,6	-	0,8	0,21	250	1000	237,38	
				5	76,4	15	0,4	0,17	312,5	1250	299,87	
				6	75,4	15	0,4	0,17	375	1600	378,8	
Геометрия пластины после корректировки												
КЗТС	SNMM 120408	T15K6	нет	7	74,7	-	0,8	0,21	250	1000	234,56	

## Результаты исследования процесса стружкодробления

Прозв.	Обозначение пластины	Материал пластины	№	Внешний вид стружки
КЗТС	SNMM 120408	T15K6	1	Не дробленая витая стружка, в процессе резания опутывает резец. Цвет: темно-желтый, синий
			2	Не дробленая витая стружка, в процессе резания опутывает резец. Цвет: темно-желтый, синий.
			3	Не дробленая витая стружка, в процессе резания опутывает резец. Цвет: темно-желтый, синий.
Sandvik	SNMG 120408 – PF	4025	4	50 % – спирали длиной 12 – 16 мм и диаметром завивания 2,5 – 3,5 мм. 50 % – дробленая стружка длиной 8 мм. Цвет: темно-желтый.
			5	50 % – спирали длиной 90 – 140 мм, 25 % – спирали длиной 40 – 50 мм с диаметром завивания 2,2 – 2,8 мм. 25 % – витая стружка длиной менее 20 мм. Цвет: желтый.
			6	35 % – спирали длиной 120 – 180 мм, 15 % – спирали длиной 40 – 60 мм с диаметром завивания 2,2 – 2,6 мм. 50 % – витая стружка длиной менее 25 мм. Цвет: желтый.
КЗТС	SNMM 120408	T15K6	7	Дробленая стружка в виде полуколец с диаметром 4 – 5 мм. Цвет: темно-желтый.

## Выводы

1. В результате анализа геометрических параметров и сравнительных испытаний установлено, что СМП для чистовой обработки выпускаются с отрицательным углом наклона режущей кромки и со значением фаски около 0,07...0,08 мм, что совместно с формой передней поверхностью объясняет надежное стружкодробление.

2. Основными отличиями геометрии пластин для чистовой обработки от пластины SNMM 120408 производства КЗТС являются наличие отрицательного угла наклона режущей кромки и уменьшенное значение фаски.

## Литература

1. Пластины сменные многогранные твердосплавные. Каталог. – Кировоградский завод твердых сплавов.
2. Sandvik Coromant. Металлообработка. Токарный инструмент.
3. Walter. Catalog.
4. Widia Valentine. Products. Turning.
5. Ермаков К.С., Тарасенко Н.В., Лутов В.М. Новое в стружколомании. – Липецк: Липецкое книжное издательство, 1960. – 36 с.

Надійшла 10.10.2006 р.

УДК 621.91.02

Ю.Й. БЕСАРАБЕЦЬ, Д.О. КРАСНОВИД  
НТУУ "КПІ", м. Київ

## ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МІТЧИКІВ НА ГЕОМЕТРІЮ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ В КІНЕМАТИЧНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ

*В статті досліджено вплив інструментальних конструктивних параметрів мітчиків на геометрію різальної частини інструмента в кінематичній системі координат. На основі аналізу розрахункових залежностей запропоновано раціональну геометрію мітчиків МЗ-М6 для обробки титану VT20 та проведено силові дослідження мітчиків даного типорозміру.*

## Вступ

Одним з поширених способів отримання різбового отвору є нарізання різби мітчиками, а для невеликих отворів підчас єдиний. Не дивлячись на велику кількість конструкцій мітчиків та робіт з підвищення працездатності даного інструмента, процес нарізання різби мітчиками, особливо в малих отворах, залишається однією з проблем при виготовленні різбових отворів. З теорії різання [1, 2] та попередніх досліджень [3, 4] відомо, що найбільш розповсюджені поломки та відкази цього інструмента пов'язані з перевищенням крутного моменту при різьбонарізанні над допустимим. Одним з основних факторів, які впливають на силові характеристики будь-якого інструмента, є його геометрія. Зважаючи на те, що для такого інструмента як мітчик, швидкість подачі закладена в конструкції інструмента, сумірна з швидкістю головного руху різання, то в найбільшій мірі процес різьбонарізання буде характеризуватись кінематичними геометричними параметрами різальної частини. На базі визначення геометрії мітчиків в кінематичній системі координат [3, 4] в даній роботі визначається кількісна оцінка взаємного впливу інструментальних геометричних параметрів та кінематичних

характеристик різальної частини мітчиків, а також зміни кінематичних характеристик вздовж різальної кромки інструмента. Інструментальними параметрами різальної частини мітчиків є кут в плані  $\varphi$ , передній кут  $\gamma$  та задній кут  $\alpha$ . На основі вищезгаданого виникає необхідність визначення більш доцільних геометричних параметрів мітчиків для обробки титана і його сплавів та проведення експериментальної перевірки крутного моменту виникаючого при нарізанні різьби мітчиками М3-М6 з рекомендованою геометрією в порівнянні зі стандартними [5].

#### Аналітичні залежності визначення кінематичних геометричних параметрів мітчиків

На основі попередніх розрахунків [3, 4] для визначення кінематичних геометричних параметрів передньої та задньої поверхні різальної частини мітчиків отримані наступні залежності:

$$\cos \gamma_K = \frac{\cos \gamma}{\sqrt{(\sin \varphi \cdot \sin \psi + \cos \varphi \cdot \sin \gamma)^2 + \cos^2 \gamma}};$$

$$\cos \alpha_K = \frac{(\sin \varphi \cdot \sin \psi + \cos \varphi \cdot \sin \gamma) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha + \cos \gamma \cdot \cos \alpha}{\sqrt{((\sin \varphi \cdot \sin \psi + \cos \varphi \cdot \sin \gamma)^2 + \cos^2 \gamma) \cdot (\sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi + \cos^2 \alpha)}}.$$

#### Вплив конструктивних параметрів мітчика на передній кінематичний кут $\gamma_K^\circ$

Інструментальний кут в плані  $\varphi$  вибирають залежно від номеру мітчика в комплекті та від типу оброблюваного отвору (табл. 1) [6, 7].

Таблиця 1

Інструментальні кути в плані  $\varphi$ 

Діаметр мітчика	Довжина різальної частини мітчика				Кут в плані $\varphi$
	Одинарні для отворів		Комплектні мітчики		
	наскрізних	глухих	чорновий	чистовий	
М3	1,5				14
		1,0		1,0	22
			1,5		14
М4	4,2				5
		2,4			12
			4,2		5
				1,4	22
М5	4,8				5
		2,4			12
			4,8		5
				1,6	22
М6	6				5
		3			12
			6		5
				2	22

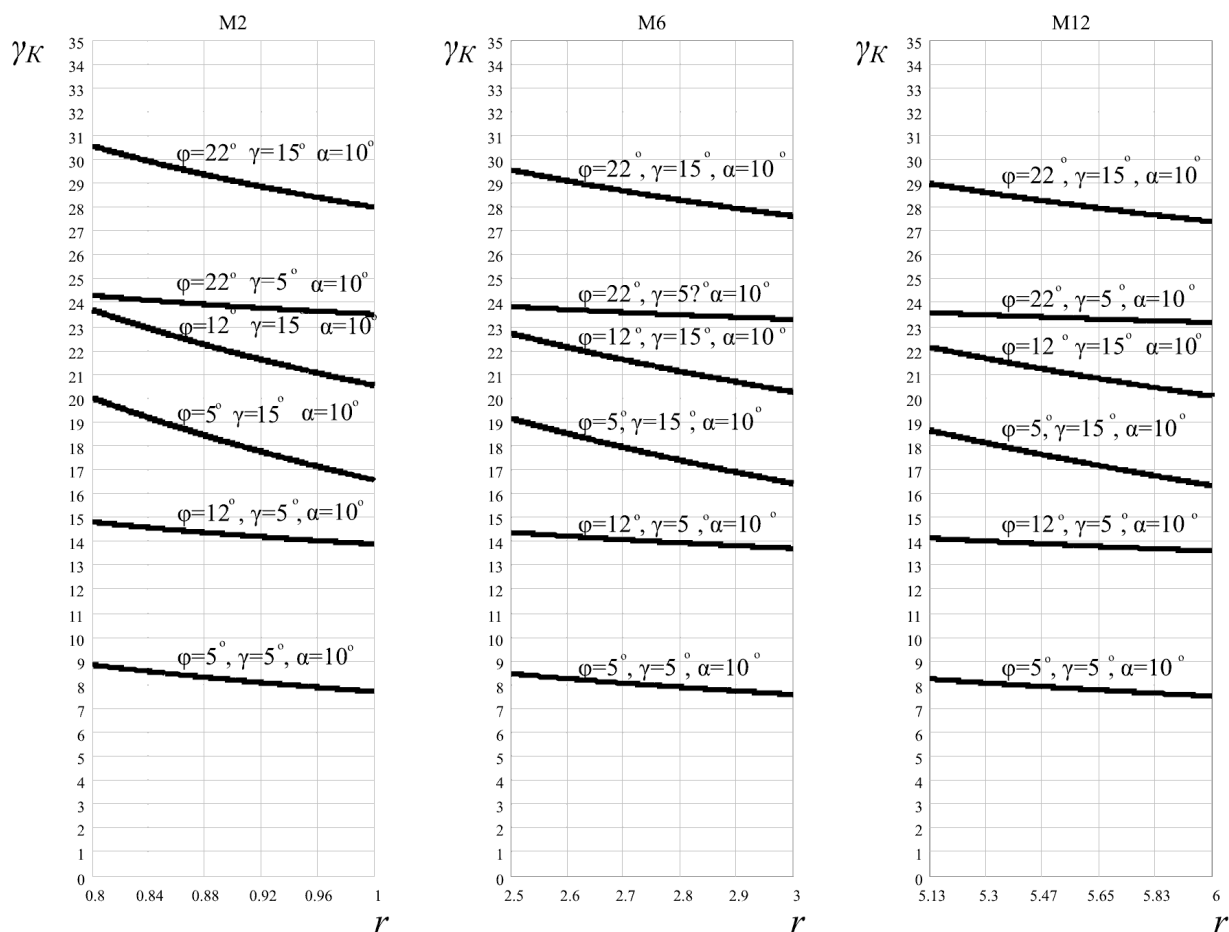
Значення переднього інструментального кута  $\gamma$  призначається залежно від типу оброблюваного матеріалу (табл. 2.) [6, 7].

Таблиця 2

Рекомендовані інструментальні передні кути  $\gamma$ 

Матеріал	Інструментальний передній кут $\gamma$
Алюмінієві та магнієві сплави	20 – 30°
Сталь м'яка та в'язка	15°
Чавун ковкий, сталь середньої твердості	10°
Тверда сталь	5°
Бронза, чавун, титан та титанові сплави	0 – 5°

На основі аналітичних залежностей одержаних в роботі [4], розраховані графічні залежності зміни кінематичного переднього кута  $\gamma_K$  вздовж різальної кромки на зовнішньому діаметрі мітчика, які представлені на рис. 1.

Рис. 1. Зміна переднього кінематичного кута  $\gamma_K$  вздовж різальної кромки

Аналіз рис. 1 показує, що зменшення переднього кінематичного кута  $\gamma_K$  відбувається вздовж усієї різальної кромки мітчика на різальній частині.

За даними графічних залежностей видно, що найбільшого значення кінематичний передній кут  $\gamma_K$  набуває на найменшому діаметрі різальної частини, тобто в момент врізання мітчика в оброблюваний матеріал. Найменше значення досягається на найбільшому діаметрі різальної частини, тобто коли починають працювати калібруючі зубці мітчика. За даними теоретичних досліджень, суттєвий вплив на кінематичний передній кут  $\gamma_K$  мають інструментальні кут в плані  $\phi$  та передній кут  $\gamma$ , до того ж при великих значеннях передніх інструментальних кутів  $\gamma$  інтенсивність зміни кінематичного переднього кута  $\gamma_K$  значно зростає.

Найбільший вплив на кінематичний передній кут  $\gamma_K$  має інструментальний кут в плані  $\phi$ . Так, при  $\phi=5^\circ$  та  $\gamma=5^\circ$ , кінематичний передній кут  $\gamma_K$  зменшується вздовж різальної кромки від  $9^\circ$  на найменшому діаметрі до  $8^\circ$  на найбільшому (мітчик M2), з  $8,5^\circ$  до  $7,5^\circ$  (мітчик M6) та з  $8,2^\circ$  до  $7,5^\circ$  (мітчик M12). Збільшення інструментального кута в плані до  $22^\circ$  при тих же значеннях інструментальних передніх кутів призводить до наступної зміни кінематичного переднього кута вздовж різальної кромки: з  $24,2^\circ$  до  $23,5^\circ$  (мітчик M2), з  $23,8^\circ$  до  $23,4^\circ$  (мітчик M6) та з  $23,6^\circ$  до  $23,2^\circ$  (мітчик M12).

При однакових значеннях інструментальних кутів в плані ( $\phi=5^\circ$ ), збільшення інструментального переднього кута з  $5^\circ$  до  $15^\circ$  призводить до зміни кінематичного переднього кута з  $20^\circ$ , на найменшому діаметрі, до  $16,5^\circ$  на найбільшому діаметрі мітчика (M2), з  $19,2^\circ$  до  $16,5^\circ$  (мітчик M6) та з  $18,8^\circ$  до  $16,2^\circ$  (мітчик M12).

Таким чином, аналіз виявив, найбільший вплив на величину кінематичного переднього кута мають інструментальні кути в плані та передні кути. При цьому, кінематичні передні кути  $\gamma_K$  зменшуються вздовж різальної кромки і перевищують значення інструментальних характеристик передньої поверхні різальної частини мітчиків.

#### Вплив конструктивних параметрів мітчика на задній кінематичний кут $\alpha_K$ .

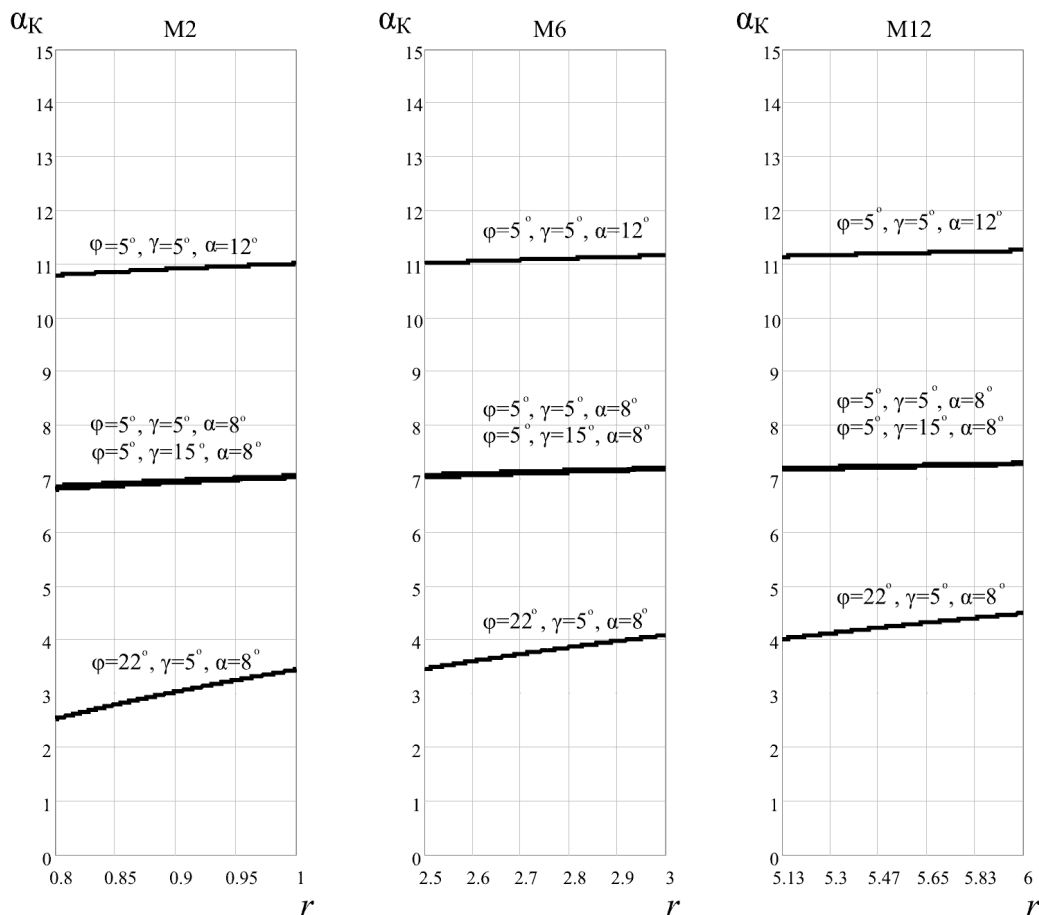
Величина заднього кінематичного кута  $\alpha_K$  залежить від інструментального кута в плані  $\phi$ , переднього інструментального кута  $\gamma$ , заднього інструментального кута  $\alpha$  та радіуса досліджуваної точки  $r$  на різальній кромці мітчика [3, 4, 8].

Суттєвий вплив на величину заднього кінематичного кута  $\alpha_K$  має інструментальний задній кут  $\alpha$ , який призначається залежно від типу мітчика [6,7] (табл. 3).

На основі попередніх аналітичних досліджень [4], розраховані графічні залежності зміни заднього кінематичного кута  $\alpha_K$  вздовж різальної кромки на зовнішньому діаметрі мітчика, які наведені на рис. 2.

Рекомендовані інструментальні задні кути  $\alpha$ 

Тип мітчика	Величина інструментального заднього кута $\alpha$
Ручні	8°
Машинні, машинно-ручні,	10 – 12°
Калібрувальні	12°

Рис. 2. Зміна заднього кінематичного кута  $\alpha_k$  вздовж різальної кромки мітчика

Аналіз графічних залежностей зміни кінематичного заднього кута вздовж різальної кромки показує, що кінематичний задній кут  $\alpha_k$  зростає вздовж різальної кромки та його значення менше інструментальних характеристик різальної частини мітчика. Попарно порівнюючи графічні залежності, дослідимо вплив кожного геометричного параметра різальної частини мітчика на кінематичний задній кут  $\alpha_k$ .

Найбільший вплив на задній кінематичний кут мають інструментальні кути в плані  $\phi$  та інструментальні задні кути  $\alpha$ .

При  $\phi=5^\circ, \gamma=5^\circ, \alpha=8^\circ$  значення кінематичного заднього кута залишається сталим вздовж усієї різальної кромки мітчика,  $\alpha_k$  зростає з  $6,8^\circ$  до  $7,1^\circ$  (мітчик M2), з  $7^\circ$  до  $7,2^\circ$  (мітчик M6) та з  $7,2^\circ$  до  $7,3^\circ$  (мітчик M12).

Збільшення інструментального кута в плані  $\phi$  до  $22^\circ$ , при тих же значеннях інструментальних передніх кутів ( $\gamma=5^\circ$ ), призводить до суттєвого зменшення кінематичного заднього кута. Так,  $\alpha_k$  зростає з  $2,6^\circ$  до  $3,4^\circ$  (мітчик M2), з  $3,5^\circ$  до  $4^\circ$  (мітчик M6) та з  $4^\circ$  до  $4,5^\circ$  (мітчик M12), але такі значення задніх кутів не припустимі для нормальної роботи мітчиків.

Збільшення заднього інструментального кута  $\alpha$  до  $12^\circ$  призводить до підвищення кінематичного заднього кута, до того ж його значення майже стає вздовж усієї різальної частини інструмента:  $11 \div 11,2^\circ$  на усіх типорозмірах.

Таким чином, зростання кінематичного заднього кута можна досягти лише збільшенням інструментального заднього кута  $\alpha$  та зменшенням інструментального кута в плані  $\phi$ .

Остаточний аналіз геометричних характеристик передньої та задньої поверхонь, з урахуванням обмежуючих факторів, дозволяє рекомендувати наступну геометрію різальної частини мітчиків малого типорозміру (M3-M6):  $\phi=5^\circ; \gamma=15^\circ; \alpha=15^\circ$ , що потребує експериментальної перевірки та силових досліджень процесу різьбонарізання.



### Експериментальна перевірка теоретичних досліджень мітчиків для обробки титана та титанових сплавів

Метою досліджень є перевірка та підтвердження результатів теоретичного аналізу та розроблених на його основі рекомендацій по підвищенню працездатності мітчиків для обробки титану та його сплавів, а також визначення раціональних геометричних параметрів мітчиків М6 для обробки титану ВТ20.

#### Методика експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження мітчиків з новою рекомендованою геометрією виконувались в порівнянні з мітчиками, що мали геометричні параметри ГОСТовані або використовувані в промисловості. Мітчики М6 для досліджень виготовлені з швидкорізальної сталі Р6М5, переточування робочої частини відбувалося на заточувальному верстаті ЗВ642 з використанням ділильної головки та мікрометра у якості упора, для підвищення точності отримуваних геометричних параметрів різальної частини.

На заточувальному верстаті ЗВ642 було отримано мітчики з передніми кутами  $\gamma$ : 5°; 10°; 15°; кутом в плані  $\varphi=5^\circ$  та заднім кутом  $\alpha=10^\circ$ .

Заготовка: втулка Титан ВТ20 ( $\sigma_B=950$  МПа) з попередньо просвердленим наскрізним отвором  $\phi 5,1$  мм. висотою 25 мм.

Загалом в експериментальному дослідженні було задіяно по 3 мітчики з передніми кутами  $\gamma=5^\circ$ ; 10°; 15° та 27 заготовок титана ВТ20.

В процесі дослідження вимірювався крутний момент при різьбонарізанні що в найбільшій мірі визначає стійкість та працездатність мітчиків.

Для проведення досліджень мітчиків було змонтовано стенд на базі вертикально-фрезерувального верстата СФ40М (рис. 3).

Для закріплення перехідної втулки з заготовкою встановлювалася динамометрична головка УДМ-100 для вимірювання крутного моменту різьбонарізання. Для вимірювання зусиль різання використовувався комп'ютерний комплекс у складі: сила вимірювального датчика універсального динамометра УДМ-100, блока спряження універсального динамометра УДМ з ПК – комп'ютером на базі Intel Pentium IV.

Функціональне призначення динамометричного датчика УДМ полягає у перетворенні крутного моменту у пропорційні електричні сигнали. ПК виконує управління процесом вимірювань, отримання миттєвих числових значень зусиль різання та моментів, зберігання їх та статистичну обробку результатів вимірювань, розрахунки, статистичну обробку, оформлення документації та вивід її на друк.

В комплексі використовується спеціальне програмне забезпечення, котре дозволяє роботу з блоками спряження та файлами результатів вимірювань, а також програми загального призначення, які використовуються для статистичної обробки результатів та оформлення звітної документації.

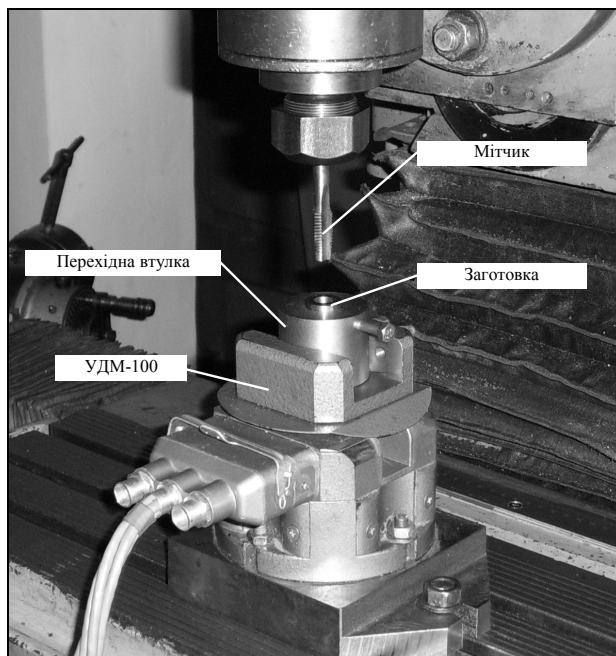


Рис. 3. Вимірювальний стенд

#### Дослідження силових характеристик мітчиків.

Процес різьбонарізання мітчиками, як будь-який процес різання, супроводжується множиною фізико-хімічних явищ. Ці явища пов'язані між собою і визначають один одного. Кожний характер протікання явища залежить від змінних факторів, що визначають технологічну систему верстат– пристосування– інструмент– заготовка. Зміна одного з факторів будь-якої ланки технологічної системи призводить до зміни кожного з явищ, що супроводжують процес різання.

Для перевірки розробленої теорії визначення геометричних параметрів різальної частини мітчиків та підтвердження висунутої гіпотези про те, що процес різання буде більш надійним та стабільним у мітчиків з новою запропонованою геометрією, проведені вимірювання крутних моментів при різьбонарізанні отвору М6 в титані ВТ20 мітчиками з різною геометрією. Режимы обробки –  $n = 80$  об/хв.,  $S = 1$  мм/об

Дані серій обробки кожним мітчиком оброблені та зведені в єдину систему графічних залежностей силових характеристик (рис. 4).

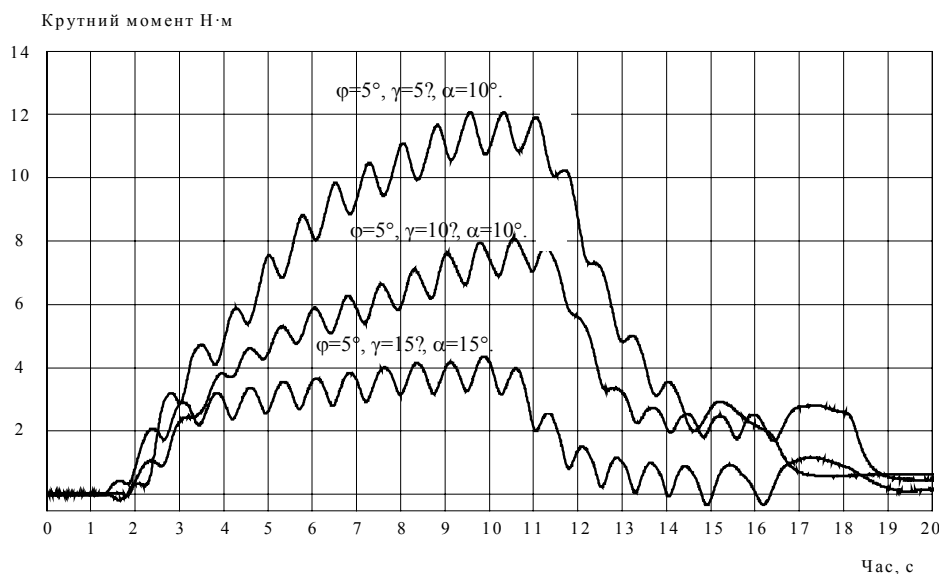


Рис. 4. Крутні моменти при різьбонарізанні мітчиком М6 титана ВТ20

Аналіз графічних залежностей показує, що мітчики з геометрією, яка використовується в промисловості ( $\varphi=5^\circ$ ,  $\gamma=5^\circ$ ,  $\alpha=10^\circ$ ) та наведені в ГОСТ стандартні мітчики ( $\varphi=5^\circ$ ,  $\gamma=10^\circ$ ,  $\alpha=10^\circ$ ) працюють з великими крутними моментами в процесі нарізання різьби, що ускладнює процес різання. Запропоновані геометричні параметри різальної частини мітчика для обробки наскрізних отворів в титані ( $\varphi=5^\circ$ ,  $\gamma=15^\circ$ ,  $\alpha=10^\circ$ ), дозволяють зменшити максимальний крутний момент в 3 рази в порівнянні з промисловими мітчиками та в 2 рази в порівнянні з стандартними мітчиками, що підвищує стійкість та надійність інструменту.

Таким чином розроблена теорія визначення кінематичних геометричних параметрів підтверджується експериментальними даними і дозволяє досягти позитивних результатів при подальшому удосконаленні конструкцій мітчиків для обробки титану та його сплавів.

#### Висновки

1. Розрахунками встановлено, що найбільший вплив на кінематичні геометричні параметри мітчиків типорозміру М3-М6 має інструментальний кут в плані, інструментальні передній та задній кути.
2. На основі аналізу розрахункових залежностей зміни кінематичних параметрів вздовж різальної частини мітчиків рекомендується збільшувати передні кути мітчиків типорозміру М3-М6 при обробці титану ВТ20 для досягнення умов надійного різання. До того ж використання мітчиків з стандартними інструментальними задніми кутами призводить до швидких поломок через заклинювання інструмента в різьбовому отворі, тому доцільне збільшення інструментальних задніх кутів.
3. Аналіз показує що збільшення кута в плані мітчиків викликає різке падіння заднього кінематичного кута, що не доцільно, при цьому стійкість інструмента зменшується при збільшенні кута в плані.
4. Для отримання різьбових отворів М3-М6 в титані ВТ20, для зменшення крутного моменту доцільно використовувати мітчики з наступними інструментальними геометричними параметрами:  $\varphi_{и}=5^\circ$ ;  $\gamma_{и}=15^\circ$ ;  $\alpha_{и}=15^\circ$ .

#### Література

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М. Машиностроение, 1975, 344 с.
2. Клушин М.И. Резание металлов. – М. Машгиз, 1958, 453 с.
3. Равская Н.С., Николаенко Т.П., Красновид Д.А. Определение кинематического угла в плане и толщина среза при нарезании резьбы метчиком // Вестник НТУУ "КПИ" – Машиностроение. – Вып. № 44. – 2003. – С. 121-122.
4. Н.С. Равська, Д.О. Красновид. Геометрія різальної частини мітчика в кінематичній системі координат. / Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Відп. ред. Г.М. Виговський. – Ж.: ЖДТУ – Вып. 1. – 2005. – С. 363-374.
5. ГОСТ 17927-72 Метчики машинно-ручные для метрических резьб. М. ГК СССР по стандартам, 1972, 40 с.

6. Карцев С.П. Инструмент для изготовления резьбы. МАШГИЗ. – М., 1955, 248 с.
7. Фрумин Ю.Л. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент. – М.: Машиностроение, 1977, 183 с.
8. ГОСТ 25762-83 Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. – М. ГК СССР по стандартам, 1983, 41 с.

Надійшла 23.10.2006 р.

УДК 621.791.75

О.О. АБРАМОВ, В.В. ЗАВГОРОДНІЙ  
Хмельницький національний університет

## ВТРАТИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

*Проведені порівняльні випробування автоматичного наплавлення електродного дроту з сталей марок Св-08Г2С-О і Св-08Г2С на поверхню сталевих заготовок в середовищі вуглекислого газу і під флюсом на установці У-653А. Визначені величини втрат електродного дроту, рекомендовані електричні і механічні параметри наплавлення.*

При всіх способах зварювання і наплавлення мають місце втрати металу, що наплавляється, внаслідок його розбризкування, випаровування, окиснення і т.п [1-7]. У цьому ряді не є винятком електродугове наплавлення. Кожна частина втрат багато в чому визначається режимом ведення процесу, зокрема, густиною електричного струму в дузі, величиною напруги, довжиною дуги, вильотом електроду, ефективністю захисту дугового простору від атмосфери, режимом перенесення крапель розплавленого металу з електроду в зварювальну ванну, технологічними можливостями устаткування і т.п.

У даній роботі визначалася величина втрат електродного зварювального дроту діаметром 1,2 мм з сталі марок Св-08Г2С (обмідненого і не обмідненого) при дуговому напавленні з захистом робочої зони вуглекислим газом і флюсом. Встановлювався також вплив на величину цих втрат деяких параметрів режиму наплавлення. Наплавлення виконувалося на зразки-пластини з низковуглецевої сталі розміром 300x50x5 мм. Всі зразки перед проведенням дослідження були пронумеровані і зважені на лабораторних вагах з точністю до 0,01 г. Зварювальний дріт розмічався по довжині на мірні відрізки для визначення маси розплавленого металу. Наплавлення проводилося лінійним способом на установці моделі У-653А виробництва Челябінського заводу "Росагропромдеталь" (рис. 1, а).

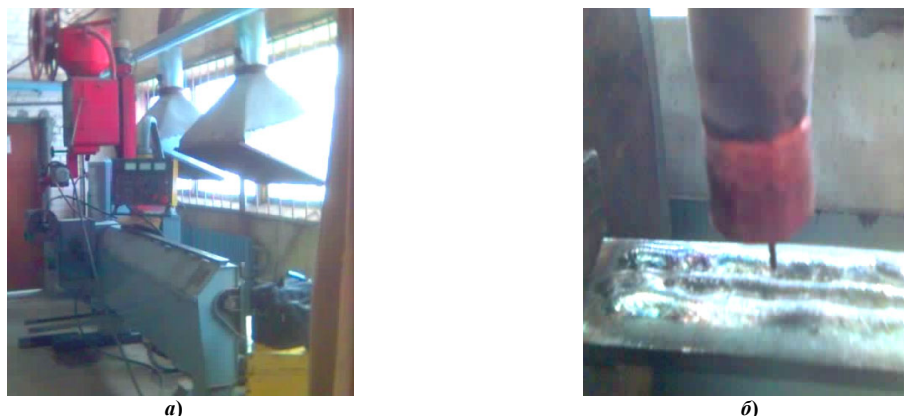


Рис. 1. Загальний вид наплавлювальної установки (а) та пробних напавлених валиків в її робочій зоні (б)

На кожен пластину наплавлявся один валик з реєструванням часу та основних параметрів режиму наплавлення. Для відпрацювання оптимальних режимів перед напавленням на контрольні зразки наплавлялися пробні валики на звичайні сталеві пластини (рис. 1,б). Під час цього відпрацювання були встановлені граничні значення швидкості подачі електродного дроту, сили зварювального струму, напруги на дузі, величини вильоту електродного дроту, швидкості переміщення каретки автомата щодо наплавлювальної головки і витрати вуглекислого газу. Головним критерієм призначення того або іншого параметра наплавлення було досягнення стабільного горіння і формування якісного напавленого валику по всій довжині напавлення за відсутності видимих зварювальних дефектів (несплавлень, підрізів, пір, тріщин, пропалин, раковин).

Для визначення втрат електродного дроту на розбризкування при веденні процесу у середовищі вуглекислого газу навколо наплавлювальної головки установки розміщувався захисний металевий короб, що давало можливість після закінчення напавлення зібрати і зважити всі бризки. Перед кожним напавленням стінки короба з внутрішньої сторони зачищалися наждачним папером до металевого блиску.

За наслідками пробних наплавлень для проведення даного дослідження були обрані дві швидкості подачі електродного дроту в зону наплавлення:  $V_{np} = 0,025$  м/с і  $V_{np} = 0,03$  м/с. Встановлено також, що швидкості  $V_{np} = 0,025$  м/с краще всього відповідає швидкість лінійного наплавлення  $V_n = 0,0017$  м/с, а швидкості  $V_{np} = 0,03$  м/с – швидкість  $V_n = 0,0024$  м/с. При такому поєднанні швидкостей забезпечувалося стійке горіння дуги і була можливість варіювання всієї решти параметрів режиму наплавлення. Витрата вуглекислого газу для захисту зони наплавлення при проведенні всіх дослідних наплавлень складала 8 л/хв.

Результати виконаних контрольних наплавлень, які представлені в табл. 1, показують, що при напавленні у середовищі вуглекислого газу загальні втрати зварювального дроту з сталі Св-08Г2С-О в середньому по всіх випробуваних режимах склали 16,5 %, (коливання від 12,04 до 19,54 %), тоді як такі ж втрати електродного дроту з сталі Св-08Г2С виявилися значно більшими – 22,1 % (коливання від 13,22 до 28,58 %). При цьому, втрати металу на вигар (окиснення, випаровування і т.п.) при напавленні дроту з сталі Св-08Г2С-О склали в середньому по всіх режимах 8,62 % (коливання від 6,89 до 10,71 %), з сталі Св-08Г2С – 13,72 % (коливання від 8,90 до 17,68 %), втрати на розбризкування – відповідно 7,88 % (коливання від 5,15 до 10,49 %), і 8,38 % (коливання від 4,32 до 12,24 %).

При швидкості подачі дроту під час наплавлення, рівної 0,025 м/с, одночасне підвищення напруги і величини струму в дузі з мінімальних значень до максимальних в діапазоні стійкого електричного режиму установки ( $U_d$  з 18,5 до 22 В,  $I_d$  з 50 до 60 А) привело до помітного збільшення втрат на вигар дроту з сталі Св-08Г2С з 10,11 до 16,34 % і практично не вплинуло на ту ж частину втрат при використанні дроту з сталі Св-08Г2С-О (табл. 1).

Що стосується втрат електродного металу на розбризкування в межах вищезазначених параметрів наплавлення, то вони для дроту з сталі Св-08Г2С-О зростають з 6,43 до 8,19 % і більшою мірою – для дроту з сталі Св-08Г2С – з 6,84 до 12,24 % (табл. 1).

Аналогічна картина втрат електродного металу зафіксована в процесі наплавлення дроту при вищевказаних параметрах, але із швидкістю подачі дроту, рівною 0,03 м/с (табл. 1). В цьому випадку також спостерігається збільшення втрат електродного металу, що розплавляється, із зростанням сили струму і напруги на дузі (дроту з сталі Св-08Г2С-О з 12,04 до 19,54 %, дроту з сталі Св-08Г2С – з 13,22 до 25,67 %). Зростають і значення складових втрат металу на вигар і розбризкування.

На рис. 2 а, б представлені величини загальних втрат (над цифрою 1), втрат на вигар (над цифрою 2) і розбризкування (над цифрою 3) при веденні технологічного процесу в середовищі  $CO_2$  на режимах, що забезпечують мінімізацію вказаних величин, а також значення (над цифрою 4) коефіцієнта наплавлення металу  $\alpha_n$  (на всіх діаграмах кожен лівий у здвоєних стовпцях відноситься до наплавлення дротом з сталі Св-08Г2С-О, правий – до наплавлення дротом з сталі Св-08Г2С).

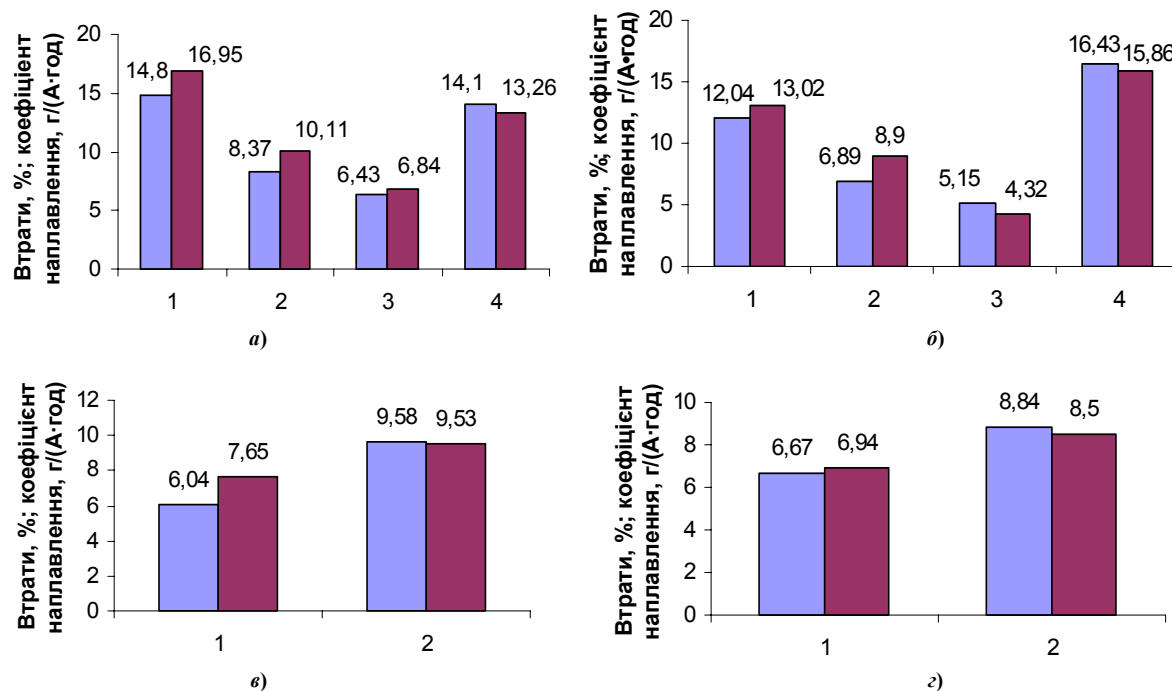
Таблиця 1

## Параметри режимів і результати наплавлення в середовищі вуглекислого газу

№ дос-піду	Наплавлюваний дріт з сталі марки	Параметри режимів наплавлення				Результати наплавлення								
		Швидкість подавань дроту, м/с	$U_d$ , В	$I_d$ , А	Довжина дуги, мм	Час наплавлення, с.	Маса расплавленого дроту, г	Маса наплавленого металу, г	Маса бризок, г	Загальні втрати дроту при напавленні, %	Втрати дроту на розбризкування, %	Втрати дроту на вигар, %	$\alpha_p$ , г А · год.	$\alpha_n$ , г А · год.
1	08Г2С-О	0,025	18,5	50	4	66	15,17	12,92	0,97	14,80	6,43	8,37	16,55	14,10
2	08Г2С					62	12,42	10,31	0,85	16,95	6,84	10,11	15,97	13,26
3	08Г2С-О	0,025	20,5	55	5	61	13,67	11,38	1,14	16,75	8,3	8,45	13,45	11,19
4	08Г2С					63	14,20	10,91	1,37	23,20	9,65	13,55	13,52	10,39
5	08Г2С-О	0,025	22	60	6	61	13,49	11,27	1,12	16,47	8,19	8,28	13,27	11,09
6	08Г2С					63	14,38	10,27	1,76	28,58	12,24	16,34	13,70	9,78
7	08Г2С-О	0,03	17,5	50	3	40	10,38	9,13	0,54	12,04	5,15	6,89	18,68	16,43
8	08Г2С					36	9,14	7,93	0,40	13,22	4,32	8,90	18,28	15,86
9	08Г2С-О	0,03	21	60	6	49	13,58	10,94	1,19	19,44	8,73	10,71	16,63	13,40
10	08Г2С					52	14,20	10,61	1,32	25,28	9,26	16,02	16,38	12,24
11	08Г2С-О	0,03	28	80	7	62	16,68	13,42	1,75	19,54	10,49	9,05	12,11	9,74
12	08Г2С					60	16,15	12,01	1,29	25,67	7,99	17,68	12,11	9,00

Параметри режимів і результати наплавлення під флюсом АН-348А

№ дослід у	Наплавлюваний дріт з сталі марки	Параметри режимів наплавлення				Результати наплавлення				
		Швидкість подачі електродного дроту, м/с	$U_d$ , В	$I_d$ , А	Час наплавлення, с	Маса розплавленого дроту, г	Маса уплавленого металу, г	Загальні втрати електродного дроту, %	$\alpha_p$ , г/(А·год.)	$\alpha_n$ , г/(А·год.)
1	08Г2С-О	0,025	21,5	80	49	11,09	10,36	6,58	10,18	9,51
2	08Г2С				53	12,24	11,39	6,94	10,39	9,67
3	08Г2С-О	0,025	29	80	48	11,00	10,32	6,18	10,31	9,48
4	08Г2С				53	11,98	11,12	7,18	10,17	9,44
5	08Г2С-О	0,025	36	80	48	11,00	10,41	5,36	10,31	9,76
6	08Г2С				48	11,09	10,11	8,84	10,40	9,48
7	08Г2С-О	0,030	21	100	44	11,36	10,57	6,95	9,29	8,65
8	08Г2С				44	11,27	10,28	8,78	9,22	8,41
9	08Г2С-О	0,030	29	100	44	11,54	10,92	7,15	9,44	8,93
10	08Г2С				37	9,41	8,57	8,93	9,16	8,34
11	08Г2С-О	0,030	36	100	41	10,83	10,19	5,91	9,51	8,95
12	08Г2С				41	10,65	9,95	6,57	9,35	8,74

Рис. 2. Втрати електродного дроту і значення коефіцієнта  $\alpha_n$  при автоматичному напавленні в середовищі  $CO_2$  (а, б) і під флюсом

$$(в, з): a - V_{np} = 0,025 \text{ м/с}, V_n = 0,0017 \text{ м/с}, U_d = 18,5 \text{ В}, I_d = 50 \text{ А}, l_d = 4 \text{ мм};$$

$$б - V_{np} = 0,030 \text{ м/с}, V_n = 0,0024 \text{ м/с}, U_d = 17,5 \text{ В}, I_d = 50 \text{ А}, l_d = 3 \text{ мм};$$

$$в - V_{np} = 0,025 \text{ м/с}, V_n = 0,0017 \text{ м/с}, U_d = 36 \text{ В}, I_d = 80 \text{ А}; V_{np} = 0,025 \text{ м/с}, V_n = 0,0017 \text{ м/с},$$

$$U_d = 21,5 \text{ В}, I_d = 80 \text{ А}; з - V_{np} = 0,030 \text{ м/с}, V_n = 0,0024 \text{ м/с}, U_d = 36 \text{ В}, I_d = 100 \text{ А}$$

Наплавлення під флюсом також, як і в середовищі вуглекислого газу, велося при  $V_{dp} = 0,025$  м/с з лінійною швидкістю  $V_n = 0,0017$  м/с і при  $V_{dp} = 0,03$  м/с – з лінійною швидкістю  $V_n = 0,024$  м/с. На відміну від наплавлення в середовищі вуглекислого газу при напавленні електродного дроту під флюсом при зростанні напруги на дузі з 22 до 36 В, але незмінної величини струму, рівної 80 А, спостерігається невелике зниження загальних втрат металу: для дроту з сталі Св-08Г2С-О при швидкості її подачі в зону наплавлення  $V_{dp} = 0,025$  м/с – з 6,58 до 5,36 %, з сталі Св-08Г2С – з 6,94 до 6,84 % (табл. 2). Збільшення напруги на дузі в тому ж діапазоні значень (з 22 до 36 В) при  $V_{dp} = 0,03$  м/с привело до зниження загальних втрат дроту з сталі Св-

08Г2С-О, що наплавляється, – з 6,95 до 5,91 м/с, з сталі Св-08Г2С – з 8,78 до 6,57 % (табл. 2). Пояснюється таке явище наближенням параметрів наплавлення до стійкішого, а отже, до оптимального режиму.

На рис. 2 *в, г* представлені величини загальних втрат електродного дроту (над цифрою 1) і значення коефіцієнта наплавлення металу  $\alpha_n$  (над цифрою 2) при веденні технологічного процесу під флюсом на режимах, що забезпечують мінімальні значення вказаних величин (так само, як і у попередньому випадку, на рис. 2, *в, г* кожен лівий в здвоєних стовпцях відноситься до наплавлення дротом з сталі Св-08Г2С-О, правий – до наплавлення дротом з сталі Св-08Г2С). Вони показують, що втрати електродного металу при напавленні дроту із сталі обох марок під флюсом в середньому в 1,2...1,5 рази менше втрат, що мають місце при напавленні в середовищі вуглекислого газу. В той же час наплавлення під флюсом характеризується нижчими значеннями коефіцієнта  $\alpha_n$  в порівнянні з напавленням в середовищі вуглекислого газу (табл. 1 і 2, рис. 2 *а, б, в, г*).

Наплавлення під флюсом забезпечило більш якісне формування напавлених валиків, ніж наплавлення в середовищі вуглекислого газу (рис. 3).



Рис. 3. Зовнішній вигляд валиків, напавлених за оптимальними режимами: *а, б* – дротом із сталей відповідно марок 08Г2С-О і 08Г2С із захистом зони напавлення вуглекислим газом; *в, г* – дротом із сталей відповідно марок 08Г2С-О і 08Г2С з захистом зони напавлення флюсом

Визначений режим електродугового напавлення під флюсом, який мінімізує втрати електродного дроту. Він передбачає поєднання наступних параметрів: для дроту з сталі Св-08Г2С-О –  $V_{др} = 0,025$  м/с,  $V_n = 0,0017$  м/с,  $U_{д} = 36$  В,  $I_{д} = 80$  А; для дроту з сталі Св-08Г2С –  $V_{др} = 0,025$  м/с,  $V_n = 0,0017$  м/с,  $U_{д} = 21,5$  В,  $I_{д} = 80$  А. При швидкості подачі дроту  $V_{др} = 0,03$  м/с і швидкості напавлення  $V_n = 0,0024$  м/с –  $U_{д} = 36$  В,  $I_{д} = 100$  А.

Практично всі приведені вище результати підтверджують пріоритетність використання обмідненого дроту з сталі Св-08Г2С-0 в порівнянні з необмідненим дротом з сталі Св-08Г2С як при напавленні в середовищі вуглекислого газу, так і під шаром флюсу. Цей факт пояснюється кращим контактом мідної поверхні дроту з внутрішньою поверхнею наконечника мундштука. На наш погляд, до цього треба додати також і то, що мідь з обмідненої поверхні дроту в умовах високої температури дуги випаровується більш інтенсивно в порівнянні з залізом, яке становить основу напавлюваного дроту ( $T_{кип. Cu} = 2873$  К,  $T_{кип. Fe} = 3013$  К). Тому можна допустити, що пари міді, що утворюються при її випаровуванні з поверхні дроту, з одного боку в деякій мірі екранують зону напавлення від атмосферного повітря, а з іншою – підвищують стійкість горіння дуги, оскільки потенціал іонізації атомів міді нижчий за потенціал іонізації атомів заліза ( $U_{iCu} = 7,7$  В,  $U_{iFe} = 7,83$  В). Розрахунки, виконані нами за відомим рівнянням Саха,

$$\frac{x^2}{1-x^2} p = 3,2 \cdot 10^{-2} a^2 T^{5/2} e^{-\frac{11605u_i}{T}},$$

де  $x$  – ступінь термічної іонізації атомів елементів;  $p$  – тиск навколишнього середовища, Па;

$a^2$  – квантові коефіцієнти елементів;  $T$  – температура, К;  $e$  – основа натуральних логарифмів;

$u_i$  – потенціал іонізації атомів елементів, В;  $k$  – постійна Больцмана,

показують, що в умовах нормального атмосферного тиску навколишнього середовища ( $p = 1,013 \cdot 10^5$  Па) і реальних температур горіння електричної дуги ступінь термічної іонізації парів міді і парів заліза складає відповідно: при температурі 6000 К – 3 % і 2 %; при температурі 7000 К – 10 і 8 %. Таким чином, наявність міді на поверхні сталевих дроту сприятливо відображається на стійкості горіння дуги та на зменшенні втрат електродного дроту.

Підприємствам та організаціям, які при виконанні робіт використовують електродугове зварювання у середовищі  $CO_2$ , відомо, що частина металевих бризків міцно приварюється до поверхні біляшовної зони зварюваних деталей. Ці бризки, як правило, неможливо видалити щіткою, по цьому для їх видалення приходится використовувати достатньо працездатний процес – зрубання зубилом. Все це порушує зовнішній від зварних деталей і, в цілому, збільшує час виконання робіт.

В літературі [7] даються пропозиції нанесення розчину крейди у воді для попередження приварювання бризків до поверхні біляшовної зони при електродуговому зварюванні в середовищі  $CO_2$ . Нами проведено експериментальна перевірка ефективності даної пропозиції в умовах формування валика напавленням на

установці У-653А. Одночасно для порівняння досліджено ефективність противодії приварюванню бризкам до поверхні металу відпрацьованого мінерального вакуумного масла марки ВМ-6, а також флюсу АН-348.

Перед виконанням кожного валика з обох боків зони наплавлення на 4 заготовки товщиною кожної 6 мм укладалися попередньо оброблені наждачною шкіркою пластини з тонкої листової сталі, на які, у свою чергу, наносилися (крім першої заготовки) вищевказані захисні матеріали. Наплавлення на всі заготовки проводилося лінійним способом на однаковому режимі. На рис. 4, а, видно, що при формуванні валика без захисту біляшовної зони до поверхні обох двох пластин приварилося багато бризкам, деякі з яких не видалялися даже металевої щіткою. Одночасно, поверхні пластин, які захищалися розчином мела у воді, відпрацьованим вакуумним маслом або шаром флюсу (відповідно рис. 4, б, в, г), виявилися чистими від бризкам після обтирання пластин звичайною тканиною.

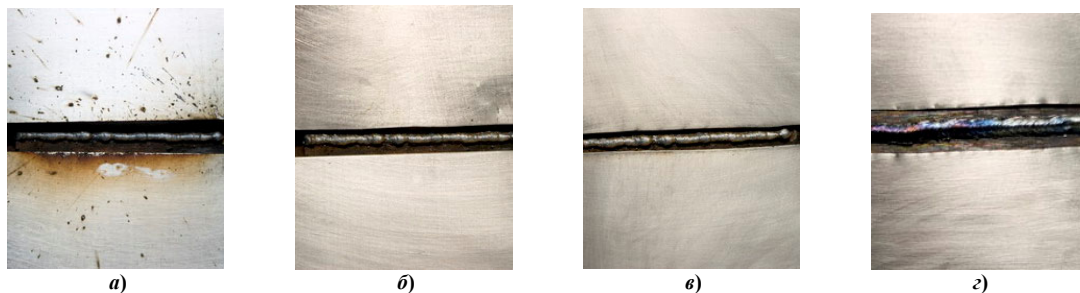


Рис. 4. Вигляд валиків та біляшовних зон після наплавлення

На мікрошліфах, виготовлених з всіх 4-х наплавлених валиків, пор не виявлено. По цьому, використання вищевказаних матеріалів для захисту поверхні біляшовних зон від бризкам електродного металу при електродуговому наплавленні в середовище вуглекислого газу є достатньо ефективним.

#### Висновки

При автоматичному електродуговому наплавленні на установці У-653А:

1. Величина втрат електродного дроту на вигар (окиснення, випаровування і т.п.) і розбризкування залежить від способу захисту рідкої ванни, параметрів режиму і марки використовуваного дроту.

2. Найменші загальні втрати електродного дроту на вигар і розбризкування при наплавленні на оптимальних режимах зафіксовані при захисті рідкої ванни розплавленим флюсом (в середньому близько 6 % при наплавленні дроту з сталі Св-08Г2С-О і близько 7 % – з сталі Св-08Г2С). При наплавленні із захистом вуглекислим газом величина загальних втрат значно більша і досягає 16,5 % при наплавленні дроту із сталі Св-08Г2С-О і 22 % – з сталі Св-08Г2С.

3. В обсязі загальних втрат електродного дроту при наплавленні в середовищі вуглекислого газу (якщо прийняти їх за 100 %) долі втрат на вигар і розбризкування складають відповідно: для дроту з сталі Св-08Г2С-О – 48 і 52 %, з сталі Св-08Г2С – 37 і 63 %.

4. Застосування обмідненого електродного дроту з сталі Св-08Г2С-О при наплавленні в середовищі  $\text{CO}_2$  в порівнянні з необмідненим дротом з сталі Св-08Г2С підвищує стійкість горіння дуги і зменшує втрати металу на вигар і розбризкування

5. Визначені оптимальні поєднання параметрів режиму наплавлення електродного дроту, які забезпечують його мінімальні втрати.

6. Експериментально підтверджено ефективність використання розчину крейди у воді, відпрацьованого мінерального вакуумного масла та флюсу для захисту поверхні деталей від бризкам електродного металу при електродуговому наплавленні в середовищі  $\text{CO}_2$ .

#### Література

1. Заруба И.И., Касаткин Б.С., Каховский Н.И., Потапьевский А.Г. Сварка в углекислом газе. – К.: Гос. изд-во технической литературы, 1960. – 224 с.
2. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение. 1970. – 336 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
4. Пономарев В.Е., Сливинский А.М. Процессы в дуге и перенос металла при сварке MIG/MAG. – К.: Издание НТК "ИЭС им. Е.О. Патона" и НТУУ "КПИ", 2003. – 76 с.
5. Данильченко Б.В., Дмитрик В.В., Притула С.И. Способы уменьшения забрызгивания сопел и токоподводящих мундштуков сварочных горелок // Сварочное производство. – 1995. – № 8. – С. 22-25.
6. Семенов А.В., Дмитрик В.В., Пузиков В.М. Разработка и использование покрытия с повышенной термостойкостью на основе карбида кремния для защиты от забрызгивания сварочных горелок. // Сб. тез. стэнд. докл. междунар. конф. "Современные проблемы сварки и ресурса конструкций. Киев. – 2003. – С. 72-77.
7. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. – М.: Машиностроение, 1979. – 231 с.

Надійшла 14.10.2006 р.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ФОРМИ В ПОПЕРЕЧНОМУ ПЕРЕТИНІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

*Відхилення геометричної форми, як і інші складові похибок розмірів, виникаючих при металообробці, мають важливе значення при побудові системи керування точністю обробки деталей на металообробному обладнанні. Такі похибки, в деяких випадках, можуть дорівнювати або, навіть, перевищувати похибки розмірів [1].*

### Вступ

Основними факторами, які викликають похибки геометричної форми, є у більшості випадків неточність окремих вузлів металорізального верстату, коливання припусків заготовок та коливання механічних характеристик матеріалу деталі, яка обробляється, і металорізального інструменту. Все це викликає коливання силових і теплових деформацій, що, в свою чергу призводить до появи похибок розмірів та геометричної форми поверхонь деталей [2]. Тому, їх автоматична компенсація за допомогою засобів активного контролю є нерациональною та вимагає великих економічних витрат. В таких умовах можливе застосування, в основному, блокуючих або розбракувочних пристроїв. Отже, актуальним питанням є автоматична компенсація цих похибок за допомогою прогнозування таких відхилень і розробки програмного забезпечення, особливо для верстатів з ЧПК [3, 4].

Компенсація похибок форми за допомогою підналагоджувальних пристроїв практично неможлива, за виключенням деяких випадків, коли можлива компенсація відхилень форми у продовжному перетині.

Суттєвий вплив на точність підналагоджувальних систем похибок форми викликаються в тому випадку, коли деталь вимірюється в продовжному перетині. При цьому, вони практично мало впливають на точність підналагодження, якщо при вимірюванні деталі знаходяться в русі.

### Результати досліджень

В даній роботі поставлено завдання розробки програмного забезпечення системи керування верстатів з ЧПК, яке дозволить виконувати корекцію таких похибок безпосередньо в процесі обробки деталей.

З метою виконання поставленого завдання у виробничих умовах механічного цеху ВАТ АК „АДВІС” були проведені дослідження відхилень від прилеглого кола в поперечному перетині отворів  $\Phi 22^{+0,030}_{+0,008}$  в деталях – штовхач тракторного двигуна А-01. Деталі розточувалися на трьохшпindelному розточувальному верстаті моделі ОС-4711. Вимірювання відхилень від прилеглого кола виконувались на коловимірювачі моделі 290. Одна з колограм представлена на рис. 1. Відхилення форми отворів у продовжному перетині при цьому не розглядалися із-за невеликої його довжини. Записи колограм виконувались в полярних координатах. Величина відхилень форми отворів від прилеглого кола визначалась по цифровому індикатору або шляхом накладання на колограму прозорого шаблону з концентричними колами та радіальною шкалою. Збільшення, при цьому, складало 1000 разів.

З метою визначення характеру розподілу були проведені вимірювання відхилень від прилеглого кола отворів, які розточувались у 360 деталей (по 120 поступово оброблених деталей на кожній з позицій розточувального верстату). За результатами вимірювання були побудовані точкові діаграми (одна з них представлена на рис. 2) та гістограма розподілу відхилень від кола (рис. 3, крива 1). Аналіз точкових діаграм показав, що похибка форми циліндричного отвору, як відомо, має випадковий характер і підпорядковується закону Релея, тобто закону розподілу суттєво позитивних величин [5] з параметрами: математичне сподівання  $M_{\rho} = 6,540$  мкм та середнє квадратичне відхилення  $\sigma_{\rho} = 4,31$  мкм.

Для перевірки стійкості закону розподілу похибок та параметрів відхилень від прилеглого кола для даного технологічного процесу через певний термін були проведені вимірювання похибок форми отворів після розточування на тому ж самому обладнанні на всіх трьох позиціях обробки. При вимірюванні були взяті шість виборок обсягом по 12 деталей в кожній. Вимірювання відхилень геометричної форми отворів в поперечному перетині виконувались на тому самому коловимірювачі моделі 290. Пр цьому були отримані 72 колограми, результати статистичної обробки яких приведені на рис. 3 (крива 2) і вони підтвердили, що похибки розподіляються по закону Релея з параметрами: математичне сподівання –  $M_{\rho} = 7,986$  мкм та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_{\rho} = 6,37$  мкм.



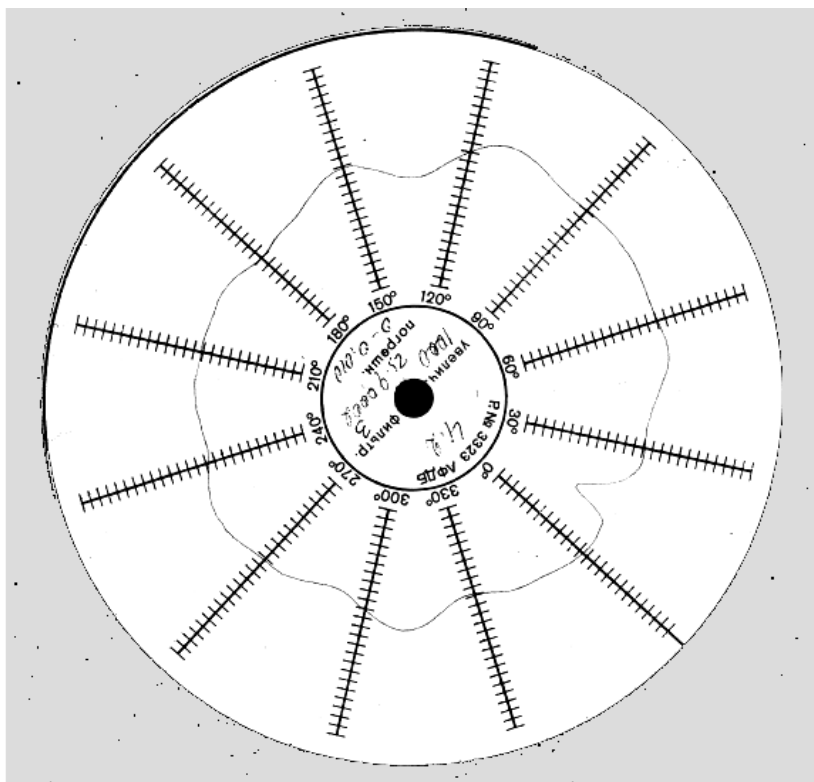


Рис. 1. Колограма відхилень циліндричної поверхні отвору в поперечному перетині

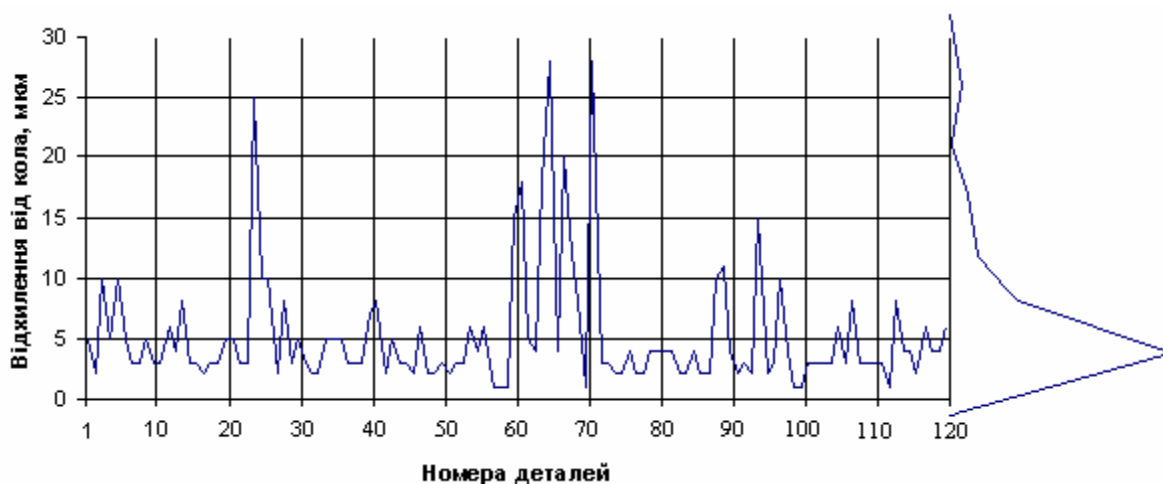


Рис. 2. Точкова діаграма зміни відхилень від кола при розтачуванні отвору в деталі „штовхач А-01”

При цьому проведена апроксимація функції розподілу таких похибок, яка має такий вигляд:

$$\phi(\rho) = \frac{\rho}{\sigma_\rho^2} \times e^{\frac{-\rho^2}{2\sigma_\rho^2}}, \quad (1)$$

де  $\rho$  – відхилення від прилеглого кола, мкм.

$\sigma_\rho$  – середньоквадратичне відхилення похибок форми, мкм.

Сумарний закон розподілу за результатами вимірювань відхилень геометричної форми в поперечному перетині всіх оброблених деталей є законом суттєво позитивних величин з параметрами: математичне сподівання  $M_\rho = 6,832$  мкм та середньоквадратичне відхилення  $\sigma_\rho = 5,45$  мкм. Теоретична крива такого розподілу представлена на рис. 3 (крива 3). Перевірка постійності дисперсії випадкової складової похибок форми ( $\sigma_\rho^2$ ) по дев'яти реалізаціях за допомогою критерію Фішера (критерій F) показала, що різниця між ними

випадкова, так як розрахунковий критерій  $F_\rho = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 1,26$  менше табличного значення ( $F=1,4$ ) [5].

Математичне сподівання відхиляється від середнього значення в межах  $\pm 10$  %.

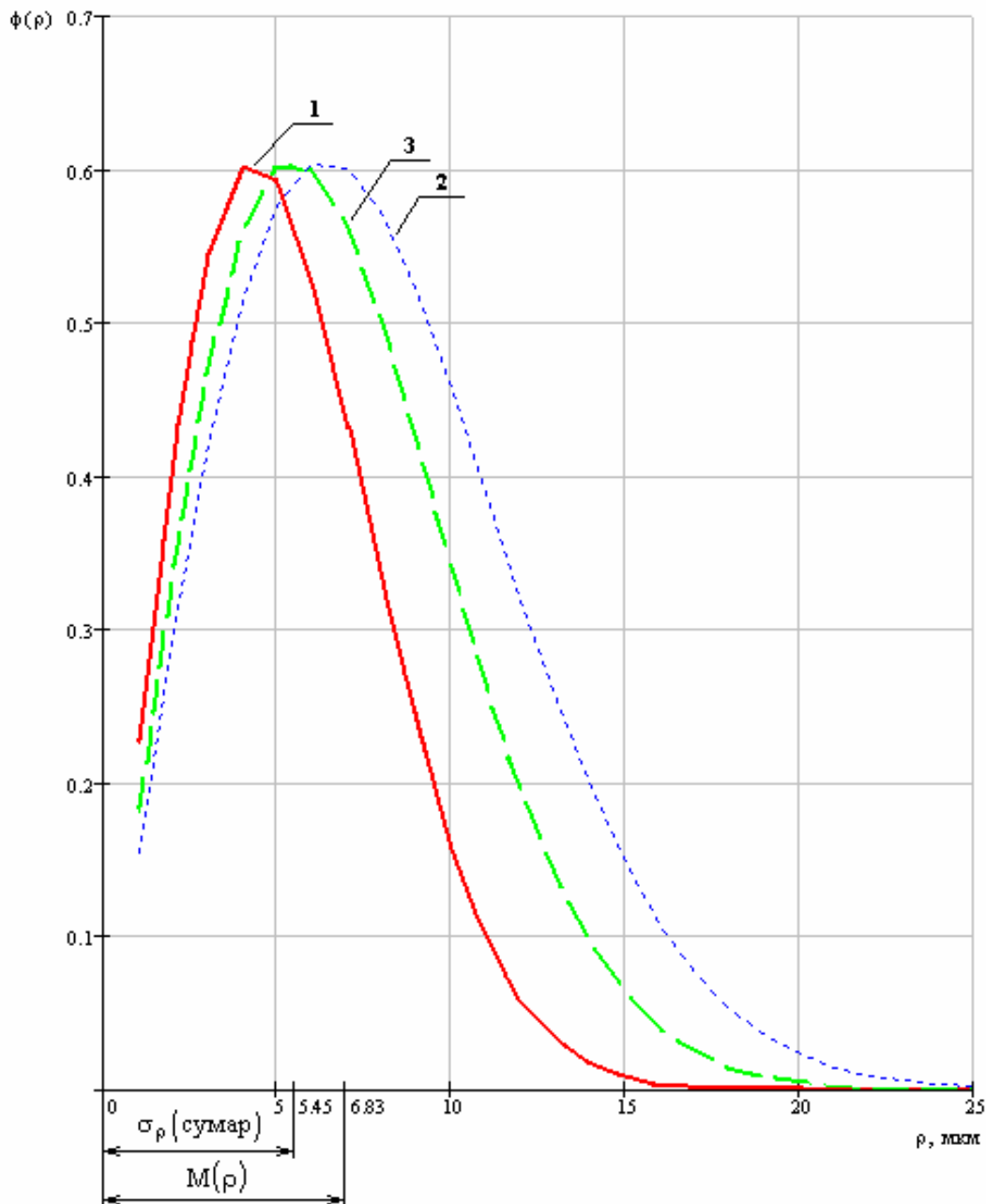


Рис. 3. Розподіли відхилень від кола, що отримані за результатами рис. 1 (крива 1) та вибіркового виміру кола отвору (крива 2). Крива 3 – сумарний розподіл

### Висновок

Про постійність закону розподілу та параметрів відхилень від прилеглого кола для даного технологічного процесу розточування є обов'язковим при нормальній роботі автоматизованого металообробного обладнання, яке не має спеціальних рухомих компенсаторів таких похибок. В разі застосування системи керування похибок форми на верстатах з ЧПК такі похибки слід враховувати при оцінюванні сумарної похибки геометричної форми та побудові математичної моделі з метою розробки програмного забезпечення системи керування точністю розмірів та геометричної форми при обробці деталей на верстатах з ЧПК.

### Література

1. Точность производства в машиностроении и приборостроении/Под ред. А.Н.Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 597с.
2. Волосов С.С. и др. Основы автоматизации измерений. – М.: изд-во Стандартов, 1984. – 368с.
3. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1988. – 184с.
4. Сучасні технології у машинобудуванні: Збірник наукових статей / За заг. ред. А. І. Грабченка. – Том

2. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – 488 с.

5. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений: Учебное пособие для вузов. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Наука, 1965. – 511 с.

Надійшла 7.10.2006 р.

УДК 621.923

А.Е. ПРОВОЛОЦКИЙ, С.Л. НЕГРУБ

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛАСТИЧНЫМИ ПОЛИМЕР–АБРАЗИВНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

*В работе представлены материалы, посвященные вопросу повышения эффективности финишной обработки эластичными полимер-абразивными инструментами. Рассмотрены вопросы контакта инструмента и обрабатываемой поверхности, аналитического определения основных силовых характеристик технологического процесса, площади контакта инструмента и обрабатываемой поверхности, характер возникающего микрорельефа. Представлены экспериментальные кривые, полученные для ряда показателей процесса обработки. Предложен способ повышения эффективности процесса обработки, рассмотрены способы промышленного применения указанного инструмента.*

Современное машиностроение Украины требует разработки новых технологий и повышения эффективности использования уже имеющихся процессов обработки.

В ходе работы был проведен подробный анализ трех основных способа шлифования: шлифование жесткими шлифовальными кругами, шлифование инструментами на упруго-эластичном основании и абразивная обработка свободным абразивом. При анализе были выявлены достоинства и недостатки каждого рассмотренного способа обработки: шлифования жесткими кругами, ленточного шлифования, шлифования лепестковыми кругами, гидроабразивная обработка, обработка в магнитном поле, обработка в виброконтейнерах, иглофрезерование, обработка свободным абразивом, обработка металлическими щетками [1-5].

Среди прочих достоинств и недостатков были рассмотрены причины и характер износа абразивных зерен при каждом методе обработки. Например, при гидроабразивной обработке при ряде технологических условий возникает ситуация разрушения абразивных зерен в момент соударения с обрабатываемой поверхностью [5] путем дробления их на более мелкие частицы.

Наиболее близким методом финишной обработки к рассматриваемому процессу обработки эластичными полимер – абразивными инструментами была признана схема обработки лепестковыми кругами [6]. Однако ее нельзя считать идентичной рассматриваемой схеме обработки в силу отличия конструкций инструмента. Общим в схемах обработки признано:

- наличие абразивных зерен на рабочих элементах инструмента;
- условия для резания создаются путем нагружения инструмента радиальной силой, придающей деформацию рабочим элементам инструмента;
- при контакте инструмента с поверхностью заготовки возникает сектор контакта, ограничивающийся некоторым углом контакта,
- оба способа обработки относятся к методам финишной обработки инструментами на упруго-эластичном основании.

Отличия в схемах обработки указаны следующие:

- конструкция эластичного полимер-абразивного инструмента позволяет рассматривать сектор контакта не только во фронтальной, но и в осевой плоскости инструмента за счет наличия уширения инструмента;
- уширение инструмента в осевой плоскости позволяет создать больший контакт инструмента с поверхностью;
- деформация рабочих элементов эластичного полимер-абразивного инструмента создается радиальной силой нагружения, прикладываемой к инструменту, тогда как конструкцией лепесткового круга предусмотрен некоторый изгиб лепестка;
- при износе абразивных зерен полимер-абразивного инструмента в работу вступают новые зерна, находящиеся в объеме рабочего элемента;
- обработка поверхности возможна как при контакте торцов рабочих элементов, так и при контакте наружной цилиндрической поверхности рабочих элементов с поверхностью.

Особенности конструкции инструмента предполагают наличие: рабочих элементов, содержащих абразивные зерна по всему сечению волокон; закрепление рабочих элементов в обойме таким образом, чтобы была возможность придания рабочим элементам инструмента начальной деформации.

Материала волокна может быть полиамид– 6, абразивные материалы, используемые в инструменте –

электрокорунд нормальный 14А по ОСТ2 МТ71-5-84 или карбид кремния зеленый 64С по ГОСТ 26327-84 зернистостью № 6-12 (по данным отечественных производителей) и алмаз.

Выявленные особенности предполагали применение иного подхода к определению основных технологических показателей аналитическим путем. За основу была взята методика для определения зависимостей силовых показателей процесса резания (силы, мощности и момента резания) для лепестковых кругов, при ее применении было использовано допущение, что один лепесток лепесткового круга разрезан на бесконечное число рабочих элементов, составляющих эластичный полимер – абразивный инструмент.

В математических моделях для определения величин силовых показателей учтены следующие факторы технологического процесса: величина опорного угла зоны контакта  $\varphi_0$ , отношение геометрических характеристик инструмента и заготовки  $\eta$ , радиальная жесткость инструмента, коэффициент резания  $f$ .

Величина опорного угла  $\varphi_0$  определяется из выражения, учитывающего величину начальной деформации инструмента, возникающей как реакция на воздействие радиальной нагружающей силы  $P_k$ . Указанные выражения получены авторами для каждой из трех схем шлифования (плоского, наружного и внутреннего) [6].

Для учета расширения инструмента в осевом направлении было проведено исследование по изучению нагружения инструмента технологическими нагрузками с целью определения величины прогиба отдельного волокна [7]. В дальнейших исследованиях была рассмотрена задача по определению величины площади контакта инструмента и обрабатываемой поверхности [8]. Площадь контакта инструмента и заготовки была рассмотрена как критерий, по которому можно судить об изменении производительности обработки инструментом при прочих равных условиях.

Одним из способов повышения производительности процесса финишной обработки эластичными полимер-абразивными инструментами стал метод установки цилиндрического инструмента под некоторым углом  $\beta$  к оси своего вращения. Установлено, что при установке инструмента под некоторым углом к оси его вращения, увеличивается площадь контакта инструмента и обрабатываемой поверхности. Установлена зависимость между получаемым углом контакта  $\varphi_0$  и углом установки  $\beta$  [9]:

$$\sin \varphi_0 = \cos \beta \quad (1)$$

Исходя из данных работы [9], следует вывод, что величина угла  $\beta \in [15;30]$ . Увеличение производительности обработки выражается в увеличении площади контакта рабочих элементов инструмента с обрабатываемой поверхностью. Увеличение площади контакта подтверждается экспериментально. Так, на рис. 1 представлена обработанная плита, на которой оставлено два следа от работающего инструмента. На рис. 1,а пятно оставлено инструментом, закрепленным в обычном порядке, тогда как на рис. 1, б пятно оставлено инструментом, закрепленном двумя косыми шайбами, что позволило установить его под углом  $\beta$  к оси его вращения. На рисунке 1 отчетливо видно увеличение площади контакта в 2 раза.

При использовании инструмента, рабочие элементы которого располагаются по винтовой линии, производительность также увеличивается [9] за счет закрепления рабочих элементов под углом подъема винтовой линии  $\beta$ .

На рис. 2 приведен график зависимости производительности обработки плоской поверхности от величины угла  $\beta$ .

Обработка плоской поверхности проводилась на разных режимах резания так, чтобы сохранялось равенство (1). Разворот рабочей части инструмента относительно оси его вращения достигался подбором косых шайб так, чтобы четко фиксировался необходимый угол  $\beta$ .

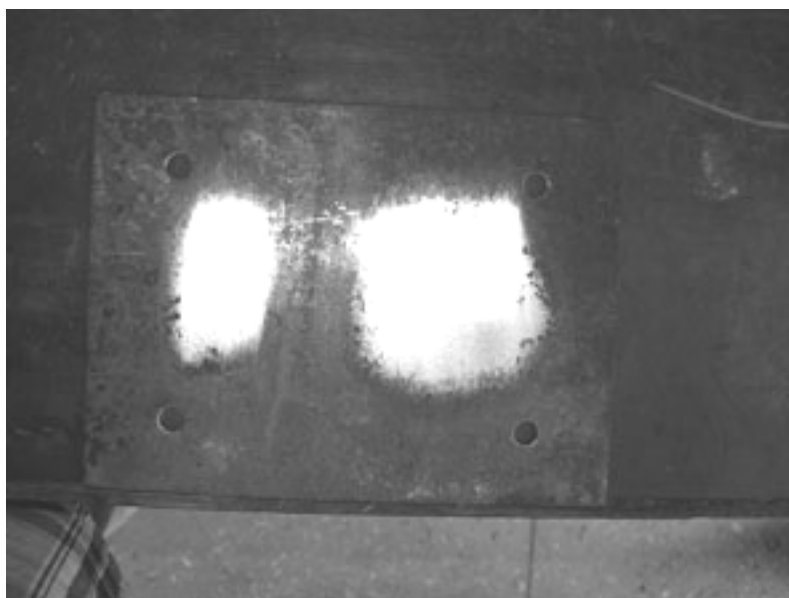


Рис. 1. Плита, обработанная эластичным полимер-абразивным инструментом [9]

На графике четко видно, что производительность обработки существует при величине угла  $\beta$  равной 0 градусам. Это объясняется тем, что обработка при отсутствии разворота рабочей части на указанный угол ведется за счет наличия угла контакта. При развороте рабочей части инструмента даже на несколько градусов, приводит к росту производительности обработки.

Однако, такой эффект длится только на участке включая величину 30 градусов. Затем производительность обработки медленно начинает снижаться на участке 30 – 45 градусов, после чего стремится к начальному значению. Это происходит, прежде всего, из-за геометрического расположения пятна контакта на обрабатываемой плоскости. В начале разворота появившийся угол  $\beta$  способствует повышению площади пятна контакта благодаря изменению расположения его в пространстве. Затем при увеличении значения угла  $\beta$  пятно контакта продолжает изменять свое положение, но на увеличении площади это практически не сказывается.

То есть происходит трансформация имеющейся величины площади на плоскости таким образом, что при изменении геометрической фигуры ее площадь сохраняется. Поэтому при увеличении угла  $\beta$  свыше 45 градусов не приводит к повышению производительности обработки, так как площадь контакта сохраняется неизменной. При изменении угла  $\beta$  необходимо выдерживать зависимость (1). Поэтому оптимальное отношение между двумя углами  $\phi_0$ :  $\beta$  должно быть 2: 1. При таком отношении достигается необходимое равенство (1) и выполняется рекомендация, полученная на графике (рис. 2).

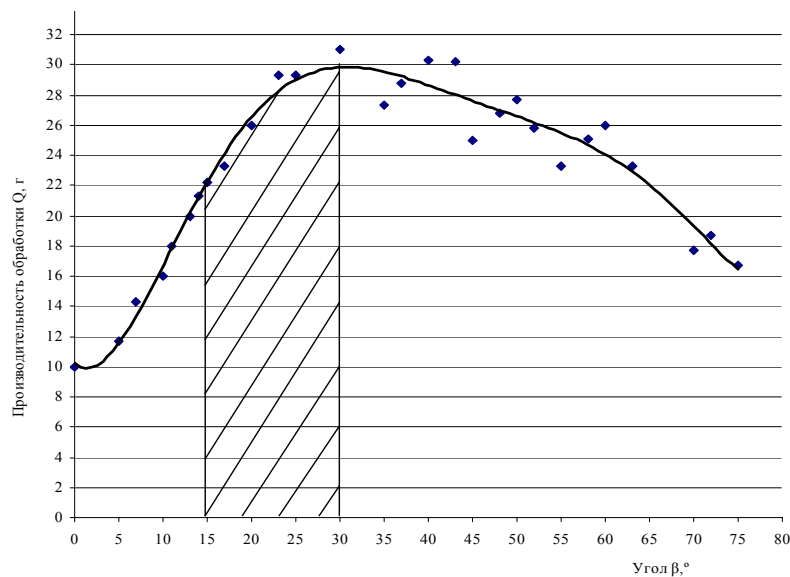


Рис. 2. Зависимость производительности  $Q$  от величины угла  $\beta$  [9]

Заштрихованная область на графике иллюстрирует рекомендуемую область значений от 15 до 30 градусов для угла  $\beta$ . На этом участке происходит полезное изменение производительности обработки.

В целом производительность обработки повышается по сравнению с обработкой при угле  $\beta$ , равном 0° в три раза (рис. 2) [9].

Проведены экспериментальные исследования по определению зависимостей объема снятого материала от скорости резания, концентрации абразивных частиц в волокне и площади контакта, величины площади контакта и шероховатости обработанной поверхности от величины начальной деформации, зернистости абразивных частиц в волокне и продолжительности обработки.

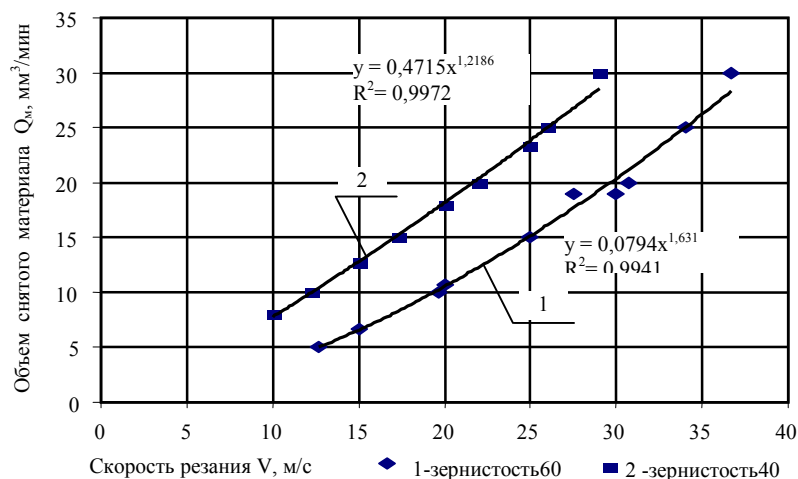


Рис. 3. Зависимость величины объема снятого материала от скорости резания [10]

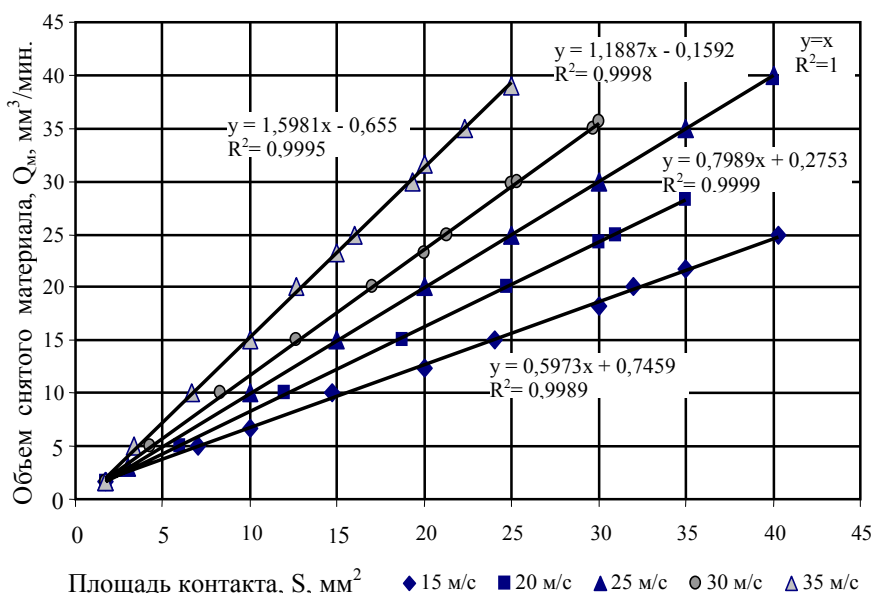


Рис. 4. Зависимость величины объема снятого материала от величины площади контакта [10].

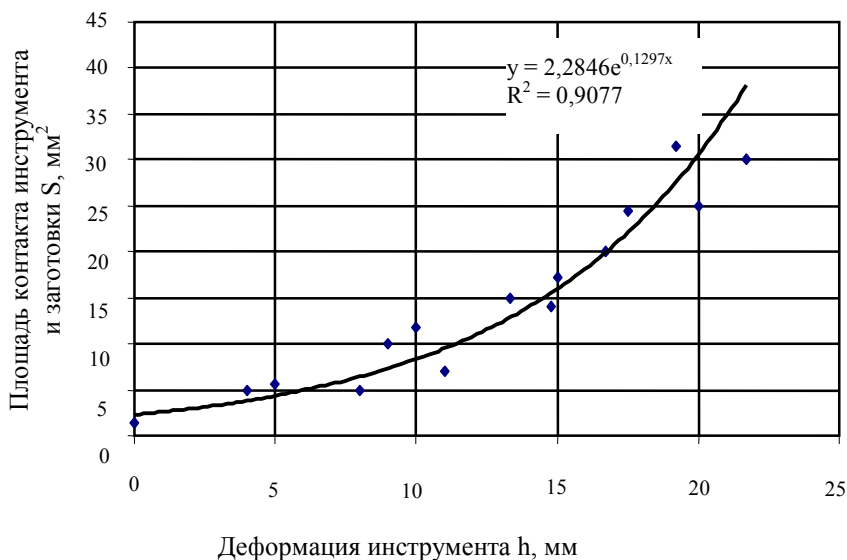


Рис. 5. Зависимость величины площади контакта от величины деформации инструмента [10].

На рис. 3 представлен график зависимости величины объема снятого материала от скорости резания. На рис. 4 представлены зависимости величины объема снятого материала от величины площади контакта при различных скоростях резания [10]. Зависимости на рисунке 4 подтверждают, что с увеличением скорости резания при прочих равных условиях объем снятого материала растет.

При одной и той же величине площади контакта объем снятого материала  $Q_m$  будет различным для обработки с разными скоростями резания, причем для большей скорости – больший. При увеличении площади контакта объем снятого материала растет. Увеличение площади контакта возникает благодаря воздействию нескольких факторов: 1) увеличение деформации инструмента (рис. 5) путем сближения его и заготовки; 2) с увеличением радиальной нагружающей силы (которая придавливает инструмент к заготовке); увеличение этой силы вызывает деформацию рабочих элементов. Таким образом, эти два фактора сложно рассматривать в отдельности; 3) уменьшение жесткости самого инструмента.

Рост объема снятого материала достигается при прочих равных условиях за счет увеличения площади контакта из-за вступления в работу новых абразивных зерен. Процесс микрорезания наиболее успешно протекает при наличии самозатачивания инструмента.

Рассмотрен характер микрорельефа поверхности после обработки полимер-абразивными инструментами. Установлена схожесть возникающего микрорельефа по своему виду и свойствам с микрорельефом после гидроабразивной обработки. Полученный микрорельеф поверхности обладает повышенной гидро- и газоемкостью [10]. Было проведено исследование по оценке полученной шероховатости по Ra с помощью профилеметра модели 170622 с информационно-вычислительным комплексом модели 170623, который позволяет оценить основные параметры обработанной поверхности. Измерения осуществлялись после обработки образцов инструментом с абразивными частицами разной зернистости. На рис. 6 представлен график зависимости величины шероховатости Ra от зернистости абразивных частиц

волокна. Зависимость иллюстрирует процесс получения заданной шероховатости с использованием инструмента с разной зернистостью. При использовании разной зернистости рабочего элемента можно добиться малых величин шероховатости. Для этого чередуя последовательно инструменты при обработке поверхность подвергают обработке за несколько переходов. Безусловно, из перечисленных факторов нельзя не упомянуть фактор времени или продолжительность обработки. В течение всех экспериментов фиксировалось время обработки. Было отмечено, что в некоторый период времени при продолжительной обработке поверхности на одном ее участке снизить шероховатость не удавалось. При обработке в течение меньшего периода времени зафиксированная величина шероховатости было ниже. Однако когда проанализировали величины шероховатости поверхности в разные моменты обработки, то оказалось, что первые 30 % времени происходит процесс интенсивного уменьшения шероховатости, после чего процесс замедляется и такого резкого уменьшения не происходит. Вскоре за этим начинается обратный процесс – шероховатость увеличивается (рис. 7) – этот процесс является результатом того, что при снятии микронеровностей до минимального уровня шероховатости абразивные частицы при постоянных режимах обработки внедряются в обработанную поверхность и величина шероховатости увеличивается [10]. Рассмотрен характер микрорельефа поверхности после обработки полимер – абразивными инструментами. Установлено, что благодаря наличию на гранях абразивных зерен собственного субмикрорельефа, на поверхности риски образуются субмикрорельеф. Микрорельеф поверхности после обработки эластичными полимер-абразивными кругами имеет риски, направленные в разные стороны, пересекающиеся между собой и образующие закрытые микролунки. На поверхностях трения наличие такого микрорельефа повышает гидро- или газоёмкость, за счет попадания смазочного вещества в микролунки поверхности. Их размеры настолько малы, что величины возникающих контактных давлений недостаточно, чтобы выдавить ее оттуда []. В ходе исследований были рассмотрены схемы практического применения указанного инструмента в промышленности. примерами такого применения могут служить технологические процессы финишной обработки: снарядных гильз, зубчатых колес и звездочек цепных передач от загрязнений и окалины после термообработки, наружных и внутренних поверхностей труб, проволоки перед волочением и после термообработки, деталей линии гранулирования пластмасс, длинномерных сложнопрофильных наружных и внутренних поверхностей вращения и др. Ряд технологических процессов обработки переданы в производство.

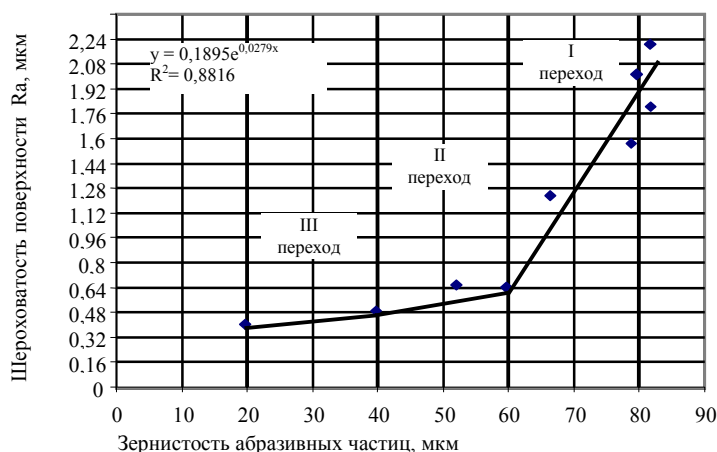


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности от зернистости абразивных частиц [10]

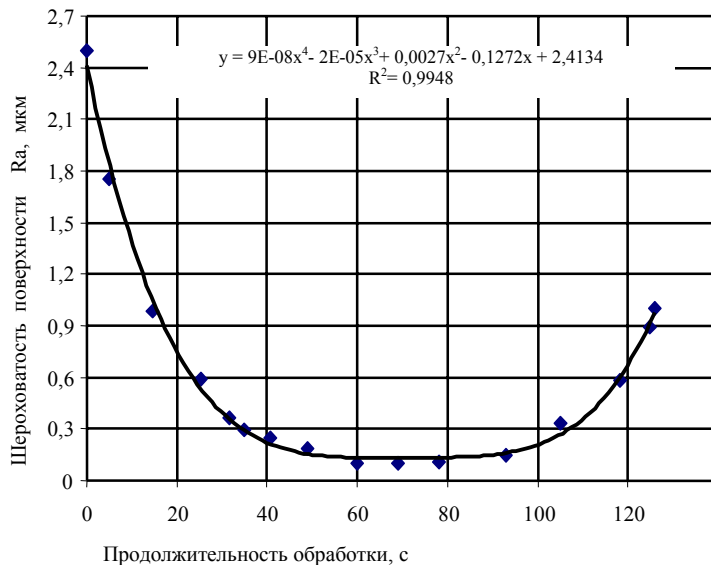


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности от продолжительности обработки [10]

**Выводы:**

1. Впервые рассмотрен вопрос финишной обработки эластичными полимер – абразивными инструментами с учетом их радиальной и осевой деформации;
2. Теоретически обосновано и экспериментально доказано повышение производительности процесса обработки поверхности эластичными полимер – абразивными инструментами в зависимости от величины начальной деформации инструмента прилагаемой к нему нагрузкой.
3. Получены экспериментальные зависимости величины объема снятого материала от скорости резания, концентрации абразивных частиц в волокне, площади контакта и шероховатости обработанной поверхности от величины начальной деформации инструмента, зернистости абразивных частиц и производительности обработки от его продолжительности.
4. Определена методика определения величины площади контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью в зависимости от уровня его деформации.

**Литература**

1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
2. Шальнов В.А. Шлифование и полирование высокопрочных материалов. – М.: Машиностроение, 1972, 272 с.
3. Барон Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд.), 1975. – 128 с.
4. Щеголев В.А., Уланова М.Е. Эластичные абразивные и алмазные инструменты. – Л.: Машиностроение, 1977. – 182 с.
5. Проволоцкий А.Е. Струйно– абразивная обработка деталей машин. – К.: Тэхника, 1989. – 177 с.
6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей ред. Ф.В.Новикова и А.В. Якимова. В 10 томах. – Т.4. «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов» – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. – (Гл.6,7). – С. 289-328
7. Колесник И.А., Негруб С.Л. Аналитические исследования прочности волокна полимер – абразивного инструмента // Вісник Інженерної Академії Наук, спец. випуск "Машинобудування", Вип. 4, Дніпропетровськ, 2002. – С. 44-51.
8. Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л. Определение площади пятна контакта полимер – абразивного эластичного инструмента с обрабатываемой поверхностью // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве, Труды 11-й межд. научно – технич. конф. 2-3.06.05, Харьков, ХНПК "ФЭД", 2005. – 135-137 с.
9. Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л. Экспериментальное исследование параметров обработки эластичными полимер – абразивными инструментами // Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006.,
10. Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л., Старостин Д.А. Повышение производительности процесса обработки полимер – абразивными инструментами // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.110. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – с. 95-102.,
11. Проволоцкий А.Е., Лапшин С.П., Негруб С.Л., Морозенко Р.Е. Исследования свойств высококапиллярного микрорельефа поверхностей // Высокие технологии в машиностроении: Сборник научных трудов НТУ "ХПИ". – Харьков, 2005. Вып. 2 (11). – с. 308 – 315.

Надійшла 23.10.2006 р.

УДК 621.74.043

В.Н. ПАДЕРИН, А.В. ДУДКО

Крымский инженерно-педагогический университет, г. Симферополь

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ОБРАЗОВАНИЯ ПЛОТНОГО СЛОЯ  
НА ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЬБЫ И ХАРАКТЕР ЕГО ВЛИЯНИЯ  
НА ПОВЫШЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЛИТЫХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ  
ДЕТАЛЕЙ ПНЕВМОАППАРАТУРЫ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

*Большинство деталей пневмоаппаратуры изготавливают из алюминиевых сплавов при помощи литья под давлением. Характерной особенностью таких отливок является повышенная газовая пористость. Это ведет к негерметичности деталей, работающих под давлением сжатого воздуха. В статье исследуется способ повышения герметичности деталей путем формирования на поверхности резьбы плотного слоя, образующегося при помощи холодного пластического деформирования.*

Литье под давлением (ЛПД) является малоотходным, прогрессивным, широко распространенным способом получения точных отливок с качественной поверхностью. Однако, при литье алюминиевых сплавов,



этот процесс не обеспечивает гарантированную герметичность ( $\Gamma\%$ ) литых деталей изделий пневмоаппаратуры, работающих под давлением сжатого воздуха до 1 МПа.

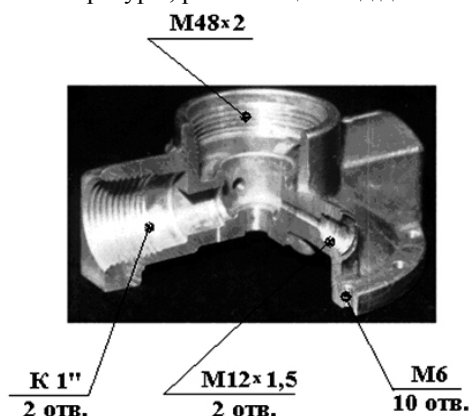


Рис. 1. Корпус ПКР25

Исследования влияние нарезания резьб, приводящих к НГ отливок, получаемых ЛПД из алюминиевых сплавов, проводили при изготовлении корпусных деталей, изделий пневмоаппаратуры, пример одной из которых показан на рис. 1.

Из фотографии видно, что корпусная деталь представляет собой сложную по конструкции и форме литую деталь с переменными по толщине стенками, в которых производится нарезание 15-и внутренних конических и метрических резьб.

Исследования влияния нарезания внутренних резьб стандартными метчиками в полостях отливок, работающих под давлением сжатого воздуха, на их  $\Gamma\%$  производили следующим образом. Сначала испытывали отливки на  $\Gamma\%$  без нарезания резьб с неповрежденными наружными и внутренними поверхностными слоями с помощью контрольно-испытательных стенов. Были получены следующие результаты. Даже при общей газо-усадочной пористости ( $\Pi\%$ ) отливок, равной 2,5– 3,5 % механически необработанные отливки без резьб были почти полностью герметичными (брак по НГ % составил 2– 4 %). Однако, после нарезания конических и метрических резьб стандартными метчиками, детали ПКР25 имели НГ % от 26 до 30 %, П– ДМ25 до 20– 25 % и П– Б16 до 12– 16 %.

Для объяснения полученных результатов исследовали макроструктуру сечения литых деталей после нарезания резьб, один из вариантов которых показан на рис. 2.

Из фотографии отчетливо видно, что при нарезании резьб в отверстиях режущие зубья метчика, в зависимости от шага резьбы, глубоко проникают в тело отливки и вскрывая  $\Pi\%$ , соединяют её с внутренней полостью детали, в результате чего, сжатый воздух находящийся под давлением до 1 МПа, свободно проникает в тело отливки и, в сочетании с вышеуказанными дефектами, приводит к их НГ %. Следовательно, исследования макроструктуры показали, что необходимо заменить нарезание резьб на способы, обеспечивающие после ее изготовления наличия плотного, герметичного поверхностного слоя, препятствующего проникновению сжатого воздуха в тело отливки, нарушающего её  $\Gamma\%$ .

Рассмотрим один из способов, позволяющий повысить  $\Gamma\%$  литых деталей, имеющих внутри своего тела  $\Pi\%$ , более подробно. Этот способ заключается в частичной или полной замене нарезания резьб стандартными метчиками на их получение холодным пластическим деформированием (ХПД), с целью образования на протяжении всей длины резьбы непрерывного, плотного и герметичного слоя, закатывающего вскрытые поры деформируемым материалом. Очевидно, что сжатый воздух, находящийся внутри изделия под давлением, теперь не сможет проникнуть в тело литой детали через образованный ХПД плотный поверхностный слой и нарушить её  $\Gamma\%$ . При этом, влияние газо-усадочной  $\Pi\%$ , неметаллических включений, примесей, оксидных пленок, газов, растворенных в расплаве и выделившихся при кристаллизации, неслитин, задиоров и др. дефектов сводится до минимума.

Для исследования образования плотного поверхностного слоя в корпусах ПКР25 были разработаны и изготовлены специальные раскатные метчики с резьбой М12×1,5, К1" и М48×2 (см. рис. 1), в которых зубья не режут алюминиевый сплав, а выдавливают его способом ХПД. Типовой чертеж раскатного метчика показан на рис. 3.

Исследования, проведенные в работе [1], показали, что одним из главных факторов, влияющих на образование сквозных негерметичных (НГ) каналов в сечении тела деталей пневмоаппаратуры является газовая пористость ( $\Pi\%$ ), образующаяся в результате принудительного попадания в расплав воздуха и газов смазки из-за недостаточной вентиляции пресс-формы, отключающейся в процессе заполнения; ее газонепроницаемости, которая в сочетании с усадочной пористостью ( $\Pi\%$ ), образующейся при кристаллизации неметаллическими включениями, примесями, оксидными пленками, газами, растворенными в расплаве, неслитинами, задирами и др. дефектами после нарезания резьб, нарушающих плотные поверхностные слои, приводит к НГ литых деталей.

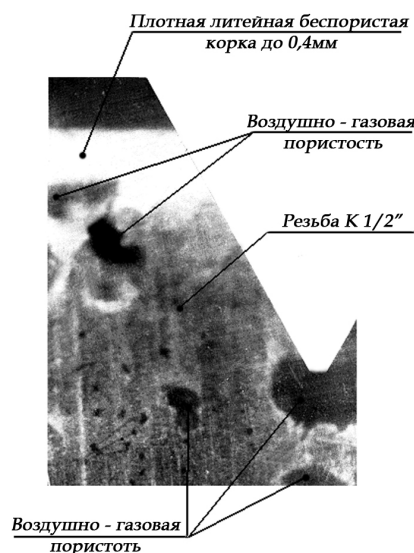


Рис. 2. Макроструктура сечения отливок после нарезания резьбы, увеличенная в 50раз

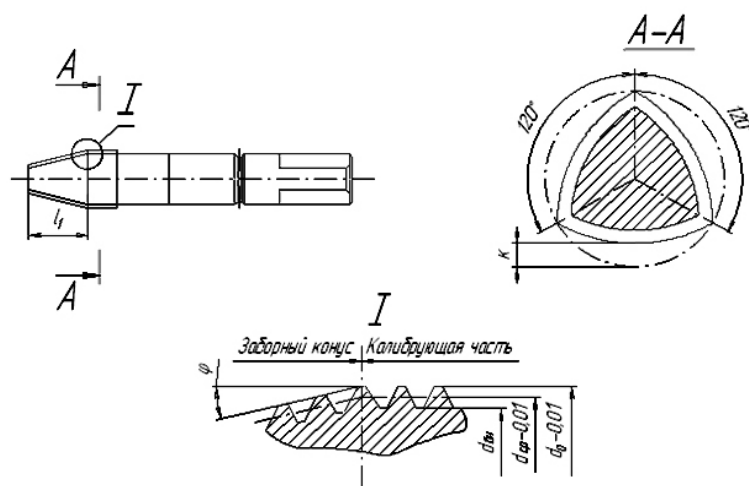


Рис. 3. Раскатной метчик, где:

$l_1$  – длина заборного конуса, мм;  $k$  – величина затылования;  $\varphi$  – угол заборного конуса  $=15^\circ$ ;  $d_0$  – наружный диаметр раскатного метчика, мм;  $d_{sp}$  – средний диаметр раскатного метчика, мм;  $d_m$  – внутренний диаметр раскатного метчика, мм.

Из поперечного сечения А–А видно, что выдавливающие грани раскатного метчика выполнены по специальной расчетной затылованной радиусной поверхности с величиной  $k$ , в результате чего, во время его вращения каждая грань поочередно не режет, а раскатывает сплав с постоянно меняющимся углом выдавливания. При этом количество граней метчика может быть три или четыре (для резьб повышенной точности), в зависимости от возникающего усилия выдавливания, связанного с величиной шага (крупного или мелкого), скоростью резания, пластичностью деформируемого материала и др. факторами.

Диаметр отверстия под раскатывание является определяющим параметром протекания процесса резьбообразования. Для алюминиевых сплавов он определяется опытным путем или рассчитывается по формуле (1) для метрических резьб и по формуле (2) для конических резьб.

$$d_{pач} = \sqrt{d_0^2 \cdot \left(0,5 - \frac{0,3849 \cdot d_0}{S} + \frac{0,57735 \cdot d_2}{S}\right) + d_1^2 \cdot \left(0,5 + \frac{0,3849 \cdot d_1}{S} - \frac{0,57735 \cdot d_2}{S}\right)} \quad (1)$$

$$d_{pач} = \sqrt{d_0^2 \cdot \left(0,5 - \frac{2 \cdot d_0}{3 \cdot S \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{d_2}{S \cdot \operatorname{tg} \alpha}\right) + d_1^2 \cdot \left(0,5 + \frac{2 \cdot d_0}{3 \cdot S \cdot \operatorname{tg} \alpha} - \frac{d_2}{S \cdot \operatorname{tg} \alpha}\right)} \quad (2)$$

где  $d_0$  – диаметр накатываемой резьбы, мм;  
 $S$  – шаг резьбы, мм;  
 $d_2$  – средний диаметр накатываемой резьбы, мм;  
 $d_1$  – внутренний диаметр накатываемой резьбы, мм.

В зависимости от величины усилия, выдерживающего стенками отливки, с целью предотвращения образования холодных трещин или их разрушения, раскатывание резьбы ХПД можно производить тремя способами: 1) предварительно механической обработкой изготовить резьбы с припуском, а затем раскатным метчиком ХПД выдавить назначенный припуск и получить герметичный поверхностный слой и полный качественный профиль резьбы (для крупных резьб и шагов); 2) получение полного профиля резьбы при раскатывании за один проход (для мелких резьб и шагов); 3) получение полного профиля выдавливанием за два и более проходов несколькими, разных по диаметру, раскатными метчиками. При этом, во всех случаях необходимо правильно рассчитать размер отверстия под резьбу с учетом выдавливаемого объема материала. Припуски рекомендуется назначать следующим образом. Нарезается резьба режущими метчиками, полируется, для лучшей видимости П % и под микроскопом определяются максимальные размеры пор, величина которых и определяет минимальный размер припуска для резьбы, обеспечивающая закатывание вскрытой пористости и образование плотного слоя. Изготавливать раскатные метчики рекомендуется для резьб диаметром до 30 мм и с шагом не более 2 мм.

Для раскатывания резьб диаметром более 60мм применяются раскатные головки с тремя роликами [4], которые смещаются один относительно другого на одну треть часть шага с целью обеспечения получения качественной резьбы, общий вид которой показан на рис. 4.

При получении резьбы ХПД особое значение имеет пластичность литейного алюминиевого сплава. Определение влияния этого параметра проводили при исследовании получения раскатыванием вышеуказанных резьб при литье из алюминиевых сплавов марок АК7, АК9 и АК12М2. Определение усилий, возникающих при раскатывании резьб ХПД производили с помощью тарированного динамометра. Были получены следующие результаты. Наименьшие усилия возникающие при раскатывании резьбы метчиком были получены при литье отливок из сплава АК12М2. Это связано с тем, что 2 % меди, находящегося в сплаве, повышают пластичность и улучшают качество поверхности резьбы. Для еще большего повышения пластичности в сплавы рекомендуется добавлять до 2– 5 % свинца или увеличивать процентное содержание меди.

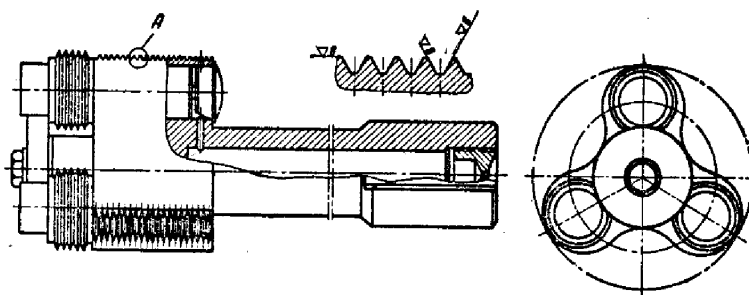


Рис. 4. Типовая раскатная головка

Для определения влияния плотных поверхностных слоев в резьбах, получаемых способом ХПД на Г % литых деталей была изготовлена партия корпусов ПКР25 в количестве 50 штук из сплава АК12М2 и испытана с помощью контрольно-испытательного стенда. Было получено, что НГ % корпусов ПКР25, резьбы в которых М12×1,5, К1” и М48×2 были получены методом ХПД составила 4 %, вместо 26–30 % брака получаемого при нарезании резьб обычными режущими метчиками. Наличие незначительного брака по НГ % связано с тем, что после визуального осмотра бракованных деталей были обнаружены на внутренних и наружных поверхностях, не связанных с нарезанием резьб, следы от задиров и неслитины, которые возможно и привели к их НГ %.

Испытания показали, что скорость раскатывания для алюминиевых сплавов может достигать до 20–25 м/мин, однако при повышенных требованиях к шероховатости поверхности скорость раскатывания не должна превышать 6–8 м/мин, при этом, стойкость раскатных метчиков в 5–10 раз превышает стойкость режущих, а чистота раскатываемых поверхностей на 2–3 класса выше, чем при нарезании стандартными метчиками.

Исследования получения наружных резьб способом ХПД проводили для гаек ПКР25 и дросселей П-ДМ25 из алюминиевого сплава АК12М2, работающих под давлением сжатого воздуха на накатных станках с помощью стандартных резьбонакатных роликов.

Было получено, что при накатывании наружной резьбы ХПД образующийся плотный поверхностный слой, обеспечивает получение герметичных деталей (брак по НГ % на партии гаек в количестве 50 штук составил всего 2 %, вместо 12–15 % брака получаемого при нарезании резьбовыми резцами). Кроме того, рекомендуется накатывать наружные резьбы с помощью плоских плашек или резьбонакатных головок.

Испытания показали, что при раскатывании внутренних резьб метчиками и накатывании наружных резьб роликами в литых деталях из алюминиевых сплавов ХПД с целью снижения усилий выдавливания, улучшения условий работы инструмента, а также повышения чистоты обрабатываемой поверхности рекомендуется применять смазочно-охлаждающие жидкости.

Проведенные исследования показали, что получение внутренних и наружных резьб способом ХПД позволяет резко уменьшить брак литых деталей, изделий пневмоаппаратуры, по их НГ %, несмотря на то, что внутренняя структура отливок пористая. Образующийся небольшой объем брака по НГ % рекомендуется не переплавлять, т.к. потери расплава дополнительно составят 6–8 %, а устранять с помощью, например, вакуумной пропитки [5].

### Литература

1. Падерин В. Н., Иззетов Н. А., Шабдинов М. Л. Причины образования негерметичности отливок из алюминиевых сплавов при литье под давлением деталей пневмоаппаратуры // Тезисы докладов VIII научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава и студентов КГИПИ. – Симферополь: НИЦ КГИПИ, 2002. – С. 4–6.
2. Малов А.Н. Справочник технолога машиностроителя. Т2 М.: Машиностроение, 1972. – 568 с.
3. Справочник металлста: Т.3 / Под ред. Малова А.Н. М.: Машиностроение, 1977. – 748 с.
4. Справочник металлста: Т.5 / Под ред. Малова А.Н. М.: Машиностроение, 1977. – 1184 с.
5. Падерин В.Н., Шабдинов Л.Ш. Исследование влияния вакуумной пропитки на повышение герметичности деталей пневмоаппаратуры, получаемых литьем под давлением из алюминиевых сплавов // Ученые записки КГИПУ: Вып. 3. – Симферополь: НИЦ КГИПИ, 2002. – С. 23–26.

Надійшла 11.10.2006 р.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОТС НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

*Рассматривается возможность увеличения эксплуатационных характеристик растительных масел за счет введения в их состав антиоксидантов. Показаны результаты измерения сил резания в среде антиоксидантов и возможность с помощью антиоксидантов снижать скорость полимеризации растительных масел.*

Одним из основных требований при реализации современных производственных процессов является их экологическая совместимость с окружающей средой и безвредность для здоровья человека. Большинство технологических процессов механической обработки металлов неразрывно связано с применением СОТС на минеральной основе, которые в свою очередь являются агрессивными загрязнителями природы и влекут за собой определенные финансовые затраты предприятий, связанные с утилизацией, хранением, транспортировкой и т.д. Это обстоятельство формирует поиск новых решений в области механической обработки материалов с применением СОТС. Одним из таковых представляется возможность применения в качестве СОТС масел растительного происхождения, которые по своей природе являются безвредными для окружающей среды и человеческого организма, а также имеют более высокие трибологические характеристики, чем минеральные масла [1, 2, 3]. Однако их использование имеет ряд недостатков, связанных с их относительно высокой стоимостью и биологическим старением при повышенных температурах. Для решения этих проблем растительные масла в виде СОТС применяют в сочетании с их минимизированной подачей в зону резания, что уменьшает их расход до тысяч раз по сравнению с полнотруйной подачей СОТС, а также вводят в их состав различные функциональные добавки, которые способствуют повышению эксплуатационных характеристик растительных масел.

Под эксплуатационными характеристиками растительных масел с одной стороны подразумевают их способность создавать прочные поверхностные пленки, удерживающиеся на поверхности трения, с другой – способность взаимодействовать с поверхностными слоями металла и пластифицировать их. Оба эти свойства растительных масел обусловлены действием ПАВ, входящими в их состав в виде остатков жирных кислот [4].

Молекулы ПАВ построены асимметрично и состоят из полярной группы и неполярной части. Прочно адсорбируясь полярными группами, молекулы ПАВ образуют на поверхности металла ориентированные слои, при этом создавая прочные поверхностные пленки [5]. Вторая способность ПАВ, а именно пластификация поверхностных слоев металла, тесно связана с эффектом Ребиндера. Открытие П.А. Ребиндером [6] эффекта адсорбционного пластифицирования (облегчение пластических деформаций, понижение прочности, возникновение хрупкого разрушения) при малой интенсивности напряженного состояния вплоть до самопроизвольного диспергирования и упрочнения под действием поверхностно-активных сред явилось важным этапом в развитии общей теории смазочного действия при трении. Таким образом, в большинстве случаев ПАВ благоприятно влияют на процесс резания, создавая прочные поверхностные пленки и облегчая процесс пластической деформации.

Однако в нормальных условиях обработки металлов резанием все эти функции ПАВ выражены не очень ярко. Связано это, прежде всего, с экранирующим действием оксидных пленок, которые всегда присутствуют на поверхности металла вследствие окисления его кислородом воздуха. Именно оксидные пленки резко снижают эффективность адсорбционного и пластифицирующего действия ПАВ.

Для устранения их нежелательного экранирующего действия, предлагается использовать такие добавки к СОТС на основе растительных масел, как антиоксиданты [7]. Антиоксиданты или антиокислители (АО) – природные или синтетические вещества, замедляющие или предотвращающие процесс окисления [8].

Являясь в своем большинстве жирорастворимыми веществами, АО легко смешиваются с растительными маслами и, попадая на поверхность оксидной пленки, химическим путем извлекают из нее кислород и восстанавливают металл до нормального (металлического) состояния. В данном случае АО выступают как восстановители, обеспечивая непосредственное взаимодействие ПАВ с металлом (рис. 1).

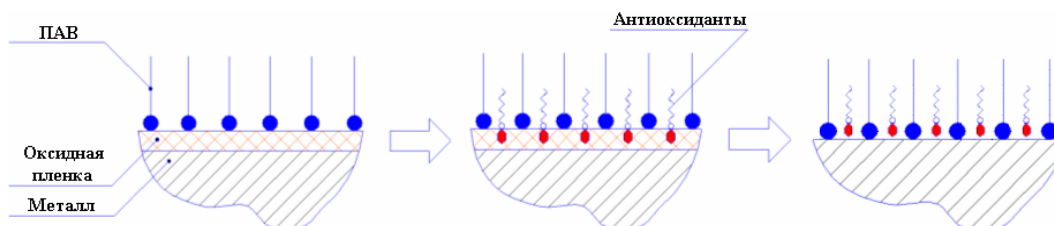


Рис. 1. Схема работы антиоксидантов

Были проведены исследования смазывающей способности растительного масла с добавками АО. Смешивались АО с подсолнечным маслом в соотношении 1: 3. В качестве АО использовался  $\alpha$ -токоферол или витамин Е – это натуральный жирорастворимый АО. Витамин Е содержит трижды метилированное фенольное кольцо с системой сопряженных двойных связей, поэтому он легко отдает электрон свободным радикалам, восстанавливая их до свободных продуктов [9]. На рис. 2 представлены химическая формула витамина Е и схематически процесс восстановления оксидной пленки железа до металлического состояния.

Продуктами восстановления являются токохиноны, Fe, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Токохиноны – это продукты частичного окисления витамина Е, также являются АО, но с менее выраженной способностью к восстановлению. Важно отметить, что эти вещества неядовитые и нетоксичные.

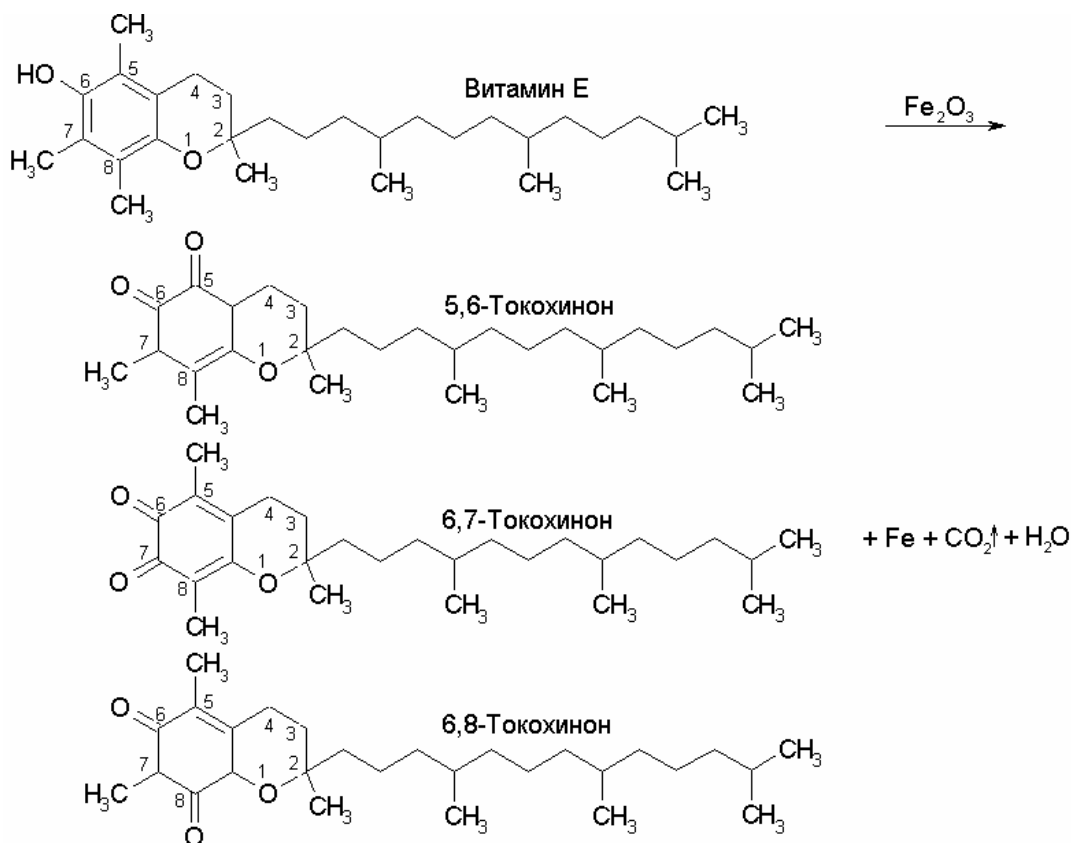


Рис. 2. Процесс восстановления оксидной пленки

Для подтверждения способности АО усиливать пластифицирующее действия ПАВ проводились измерения горизонтальной силы P<sub>г</sub> при фрезеровании стали 45 зубьями из быстрорежущей стали P6M5. Измерения производилось с помощью универсального динамометра УДМ – 600 и программного обеспечения ЛИС – 16С (рис. 3).

Резание осуществлялось всухую, а также с применением минерального «И– 20», подсолнечного, хлопкового, касторового масла и антиоксиданта. Опыты проводились при постоянной глубине резания t=1 мм в диапазоне подач Sz=0,4 – 0,1 мм/зуб. Скорость резания изменялась в пределах 15,7 – 63 м/мин. Все СОТС подавались при помощи минимизированной подачи устройством фирмы «NOGA», расход составлял 3-4 мл/мин при давлении 0,4 МПа.

Полученные данные представленные, на рис 4, позволяют отметить следующие обстоятельства. Все используемые среды обуславливают снижение силы резания. Эффект зависит как от скорости резания, так и уровня контактных нагрузок. При скоростях резания, превышающих критическую (около 100 м/мин), ПАВ становятся неэффективными [4].

Наибольшее снижение силы резания (до 30 %) наблюдается при применении касторового масла и антиоксиданта. Однако и в этом случае эффект оказывается зависимым от скорости резания, значимо проявляясь при ее относительно низких значениях. Снижение силы резания при применении касторового масла обусловлено (возможно) высоким содержанием рицинолевой кислоты (до 90 %), которая, в свою очередь является ПАВ. Эффект понижения силы резания антиоксидантом связан с увеличением ими пластифицирующей и диспергирующей способности ПАВ, содержащихся в растительных маслах.

Как известно, общая работа резания состоит из работы, идущей на диспергирование (отрыв стружки, т.е. образование новых поверхностей), упругие и пластические деформации и трение. Согласно «эффекту Ребиндера» пластическое течение материала облегчается путем его покрытия поверхностно-активной жидкостью, что приводит к снижению предела текучести на сдвиг. Таким образом, именно ПАВ находящиеся в растительных масла и снижают силу резания, за счет уменьшения работы, идущей на диспергирование,

пластические деформации и трение.

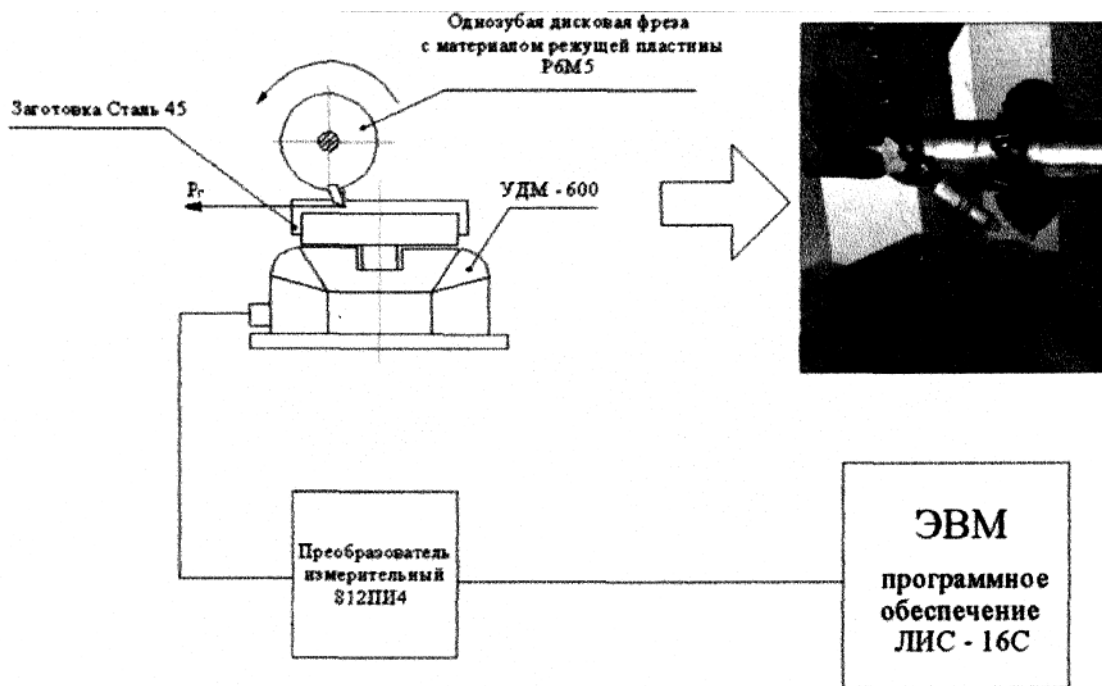


Рис. 3. Схема измерения горизонтальной силы  $P_r$

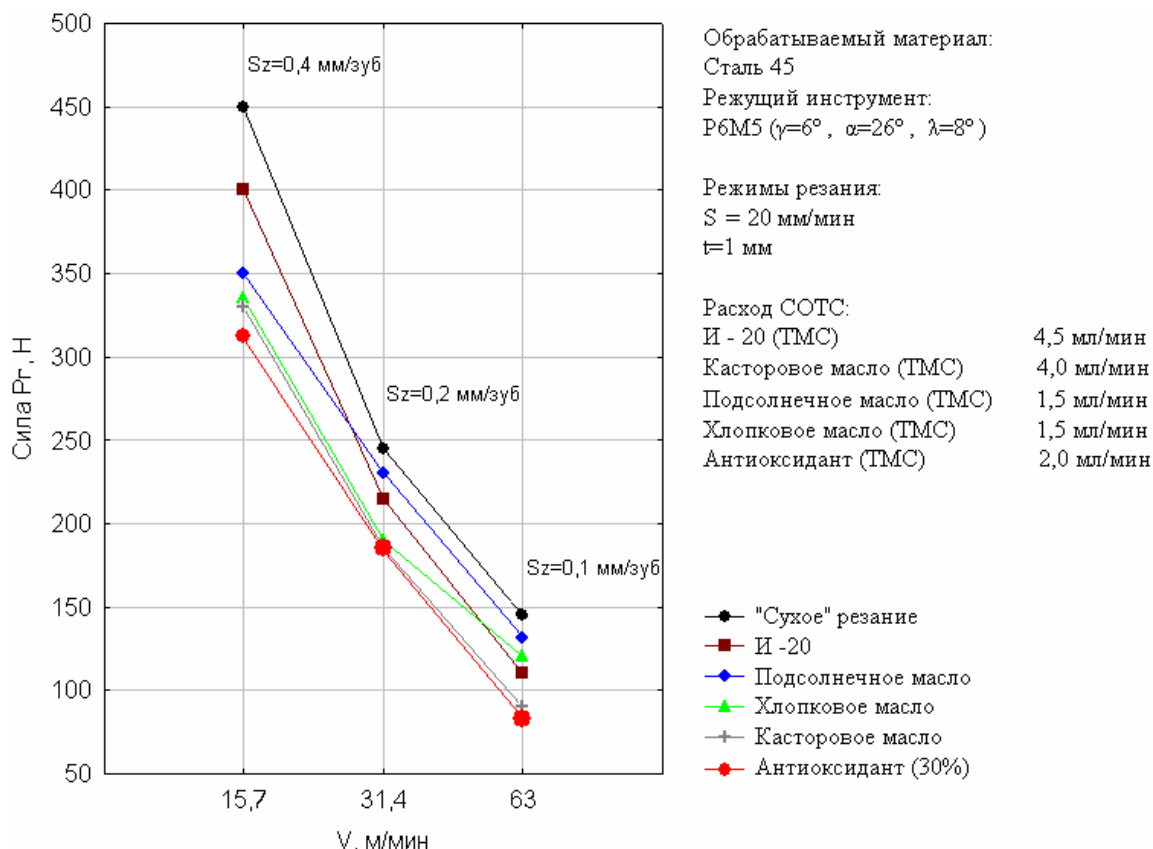


Рис. 4. Зависимость окружной силы  $P_r$  от скорости резания  $V$

Также представляющим интерес, является снижение скорости «старения» (высыхания) растительных масел, благодаря способности АО ингибировать процесс окисления.

Растительные масла по отношению к действию кислорода воздуха разделяются на высыхающие, полувсыхающие и невысыхающие. К первым относят конопляное, льняное и др. масла, в которых из-за присутствия двойных связей возможна полимеризация – «сшивка» отдельных молекул с образованием нерастворимой пленки. Полувсыхающие растительные масла: хлопковое, рапсовое, подсолнечное и др., –

также полимеризуются, но с меньшей скоростью. Невысыхающие масла (оливковое, пальмовое, касторовое) не реагируют с кислородом воздуха при обычной температуре.

Высыхающие растительные масла содержат наибольшее количество глицеридов линолевой и линоленовой кислот. Наличие двойных связей в жирных кислотах обуславливает процесс присоединения кислорода (окисления) по месту двойных связей. Масла, у которых содержание этих кислот больше, имеют склонность к более быстрому высыханию.

Процесс высыхания растительного масла заключается в том, что масло, будучи нанесено тонким слоем, на поверхность, сначала поглощает кислород воздуха (окисляется), а затем наступает процесс сополимеризации, отвердевания пленки и образование твердого сополимера – линоксина.

Способность масла высыхать характеризуется его йодным числом, которое показывает, какое количество йода (в процентах) способно присоединить к себе масло, обработанное раствором йода. Это определение основано на том, что йод присоединяется по месту двойных связей у ненасыщенных кислот масла (линолевой, линоленовой и других кислот). Чем больше этих связей, тем выше йодное число.

Растительные масла при длительном хранении способны частично разлагаться на глицерин и свободные жирные кислоты, которые в дальнейшем под влиянием кислорода воздуха, света и других факторов разлагаются на низкомолекулярные кислоты и альдегиды [10].

Поэтому эффективность использования растительных масел при температурах резания 100-120°C снижается из-за пленкообразующих процессов описанных выше.

При введении АО в состав высыхающего (полувысыхающего) растительного масла они в первую очередь вступают в реакцию с кислородом воздуха и таким образом ингибируют процесс полимеризации масла. С течением времени, исчерпав свой ресурс, т.е. полностью окислившись (рис. 5), АО перестают выполнять свою восстановительную функцию, и растительное масло снова подвергается процессу окисления.

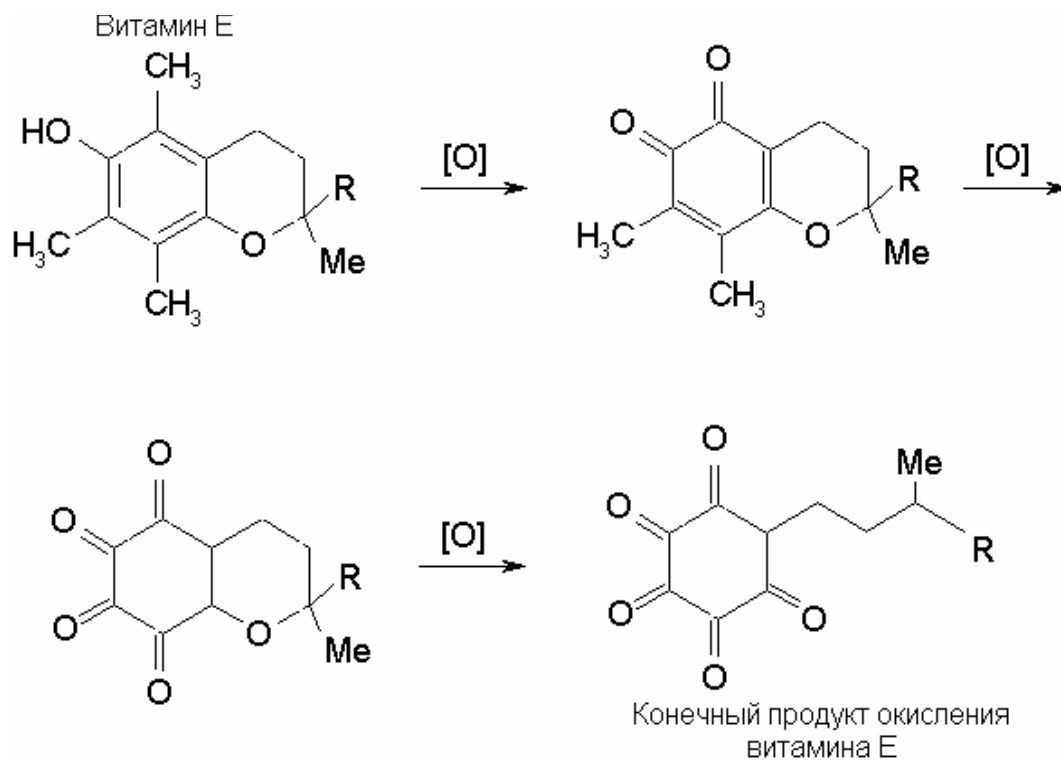


Рис. 5. Полное окисление витамина Е

В работе Binggeli M. «New ester based metalworking fluids» [11] представлены результаты испытаний растительного масла на скорость полимеризации в зависимости от различных добавок (рис. 6). Растительное масло наносилось равномерным слоем на поверхность и подвергалось ультрафиолетовому облучению для ускорения процесса полимеризации. На рис.6 показаны уровни полимеризации растительного масла в зависимости от добавок, где А – растительное масло без добавок, В – растительное масло с добавками различных эфирных масел и С – растительное масло с добавками антиоксидантов. Данный эксперимент показывает состоятельность предположения, что антиоксиданты снижают скорость высыхания растительных масел.

Таким образом, применение антиоксидантов в качестве функциональных добавок к СОТС на основе растительных масел обусловлено увеличением пластифицирующего, диспергирующего и адсорбционного действий ПАВ. А возможность при этом снижать скорость их полимеризации делают данный способ увеличения эксплуатационных характеристик перспективным в плане экологической ориентации СОТС на основе растительных масел.

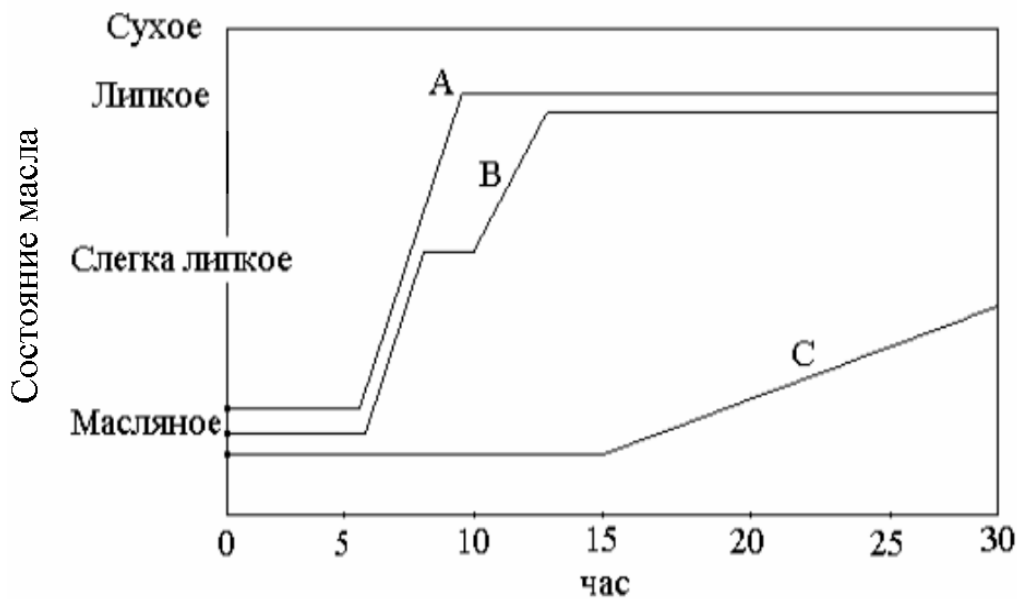


Рис. 6. Уровни полимеризации трех различных формулировок растительного масла [11]

## Литература

1. Якубов Ч.Ф. Повышение износостойкости быстрорежущих инструментов путем направленной трансформации их исходных свойств. Дисс. ... канд. тех. наук. – Харьков, 2004 – 146с.
2. Ваниев Э.Р. Влияние СОТС подаваемой методом техники минимальной смазки на силу резания при фрезеровании // Сб. Резание и инструмент в технологических системах. Вып. 68. – Харьков, ХГПУ. – 2005. – С. 54 – 57.
3. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / Под. ред. А.И. Грабченко. – Харьков, ХГТУ, 1999. С.348 – 354.
4. Курчик Н.Н., Вайншток В.В., Шехтер Ю.Н. Смазочные материалы для обработки металлов резанием. – М.: «Химия». 1972. – С. 183 – 185.
5. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматгиз, 1963.
6. Ребиндер П.А. О влиянии изменений поверхностной энергии на стойкость, твердость и другие свойства кристаллов // VI съезд русских физиков. Доклады. – М., 1928.
7. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. «Техніка», 1970, С. 196 – 212.
8. Глинка Н.Л. Общая химия. – Л.: Химия, 1986. С. 257-263.
9. Колотилова А.И., Глуманнов Е.П. Витамины (химия, биохимия и физиологическая роль). – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1976. – С.54– 66.
10. Беззубов Л.П. Химия жиров. – М.: Пищевая промышленность, 1975 – 356с.
11. Binggeli M. New ester based metalworking fluids / Einsatz in der spannenden Fertigungstechnik / University of Stuttgart, 2001. – С. 198– 210.

Надійшла 18.10.2006 р.

УДК 630.37

І.М. РУДЬКО

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

### ВПЛИВ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ НА СИЛОВІ ТА ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСУЧОГО КАНАТА ПІДВІСНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ УСТАНОВКИ

*Розроблено методику розрахунку несучого каната підвісної установки для транспортування деревини з урахуванням його поздовжньої деформації, викликаної зміною температури внаслідок природних чи експлуатаційних умов. Досліджено вплив зміни температури на форму провисання, силові та геометричні характеристики каната. Наведено числовий аналіз задачі для конкретного випадку.*

Правилами рубок головного користування [1] в гірських лісах України передбачений порядок лісосічних робіт, що забезпечує лісовідновлення на вирубках і захист ґрунтового покриву від ерозії. Підвісний спосіб транспортування деревини найбільшою мірою відповідає цим вимогам і рекомендований як основний в усіх зонах гірських лісів. Вітчизняний та зарубіжний досвід показує, що найефективнішим видом транспорту,



який найбільшою мірою відповідає лісгосподарським й лісозаготівельним вимогам, пристосований до складних умов рельєфу і економічно себе виправдовує при тимчасових роботах на лісосіках, є канатний. Хоча на даний час в Україні за допомогою канатних установок виконується досить незначний обсяг робіт, проте існуючі тенденції розвитку екологоощадних лісозаготівельних технологій, що знайшли застосування в ряді європейських країн, вказують на беззаперечну перспективність підвісних систем.

Розробка та впровадження канатних систем має велике значення для підвищення ефективності застосування техніки на лісозаготівлях України. Досвід роботи установок для транспортування деревини показує, що навіть незначна зміна умов експлуатації суттєво впливає на основні характеристики канатів. Тому потреба обґрунтування необхідності врахування того чи іншого фактора, що діє на систему, є важливою задачею проектування в частині розрахунку несучого каната як основного та найбільш відповідального елемента установки.

Широке наукове визнання отримали методики розрахунку несучих канатів, розроблені професорами Дукельським О.Й., Цвайфелем, Песталем, Білою Н.М. та ін., які є основою для проектування підвісних канатних установок. Найбільш повно на сьогоднішній день стан проблеми розроблення теоретичних положень розрахунку канатів викладений в працях проф. Мартинціва М.П [2] та проф. Хайніманна Г.Р [3], де наведено огляд існуючих методик розрахунку та відзначено найбільш актуальні проблеми, що потребують вирішення.

На сьогодні все ще недостатньо досліджено вплив зміни температури на основні характеристики несучих канатів підвісних систем. В існуючій літературі зустрічаються розбіжності щодо оцінки величини впливу температурного фактору. Зокрема в роботі [4] стверджується, що коливання температури несуттєво впливають на роботу канатів. Проте в монографії [5] відзначено, що температура може значно впливати на зміну натягу і прогину гнучкої нитки, особливо за несприятливих умов. Встановлено [6], що при стрілі  $f_0/\ell = 1/20$  похибка внаслідок нехтування впливу дії температури не перевищує 4%. Проте зроблений висновок стосується лише підвісних систем, завантажених власною вагою, і не може бути застосований в інших випадках. Несучі канати підвісних транспортних установок в завантаженому стані працюють зі стрілами прогину значно меншими  $1/20$  довжини прольоту, тому питання дослідження впливу перепаду температури на умови їх роботи потребує додаткового вивчення.

З метою дослідження даної проблеми розв'яжемо наступну задачу. Розглянемо однопрольотну підвісну систему (рис. 1), в якій кінці каната є жорстко закріплені, відстань між опорами становить  $\ell$ , а ухил хорди прольоту до горизонту –  $\alpha$ . На відстані  $x_0$  від лівої опори система завантажена вертикальним зусиллям  $G$  (вага каретки і вантажу). Власна вага каната рівномірно розподілена по його довжині з інтенсивністю  $q$ . Тобто кривою провисання каната на ділянках, завантажених власною вагою, є ланцюгова лінія [7]. В процесі експлуатації температура каната змінюється на величину  $\Delta t$ . Вважаємо також, що деформації каната є пружними. При зроблених припущеннях потрібно встановити форму кривої провисання каната, визначити його максимальний прогин та натяг.

В роботі [7] розроблена методика визначення геометричних і силових параметрів завантаженого несучого каната. При цьому для знаходження коефіцієнтів ланцюгових ліній отримано систему шести трансцендентних рівнянь і запропоновано підхід до її розв'язування. Якщо в даній системі довжину каната  $L_0$  замінити значенням виразу

$$L_n = L_0 \left( 1 + \frac{T_{cp} - T_{0cp}}{E \cdot A} + \alpha_t \cdot \Delta t \right), \quad (1)$$

і розв'язати утворену систему згідно запропонованої методики, то можна встановити рівняння кривих провисання, визначити шукані характеристики каната з урахуванням зміни його довжини, зумовленої дією силових факторів і перепадом температури. У формулі (1)  $L_0$  і  $T_{0cp}$  – відповідно довжина і середній натяг каната, завантаженого власною вагою;  $L_n$  і  $T_{cp}$  – відповідно довжина і середній натяг каната після його завантаження зосередженим зусиллям;  $\alpha_t$  – коефіцієнт лінійного розширення; згідно досліджень проф. Дукельського О.Й [8] і проф. Меркіна Д.Р [9] для сталевих канатів  $\alpha_t = (11 \dots 12) \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ .

Для визначення поздовжньої жорсткості сталевих канатів конструкції  $6 \times 19 + 1$  о.с. (ГОСТ 2688), які в підвісних установках застосовуються в якості несучих та направляючих елементів, використовується емпірична залежність, запропонована проф. Адамовським М.Г [10]

$$E \cdot A = \left( 1,63 + \frac{0,48}{n_n} \right) \cdot q \cdot 10^6, \quad (2)$$

де  $n_n$  – розрахункове значення запасу міцності каната;  $n_n = T_{розр} / T_{cp}$ ;  $T_{розр}$  – розривне зусилля каната в цілому, що визначається згідно існуючих стандартів або рекомендацій.

Запропоновану методику реалізовано для розрахунку конкретної підвісної канатної установки з довжиною прольоту  $\ell = 213,8$  м та ухилом хорди прольоту до горизонту  $\alpha = 16,85^\circ$ . В якості несучого елемента використовується канат ГОСТ 2688, з погонною вагою  $q = 2,99205$  Н/м, площею поперечного перерізу дратин  $A = 31,18$  мм<sup>2</sup>, розривним зусиллям  $T_{розр} = 55000$  Н, коефіцієнтом лінійного розширення  $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>. Зазначена система завантажена вертикальним зусиллям  $G = 2$  кН на віддалі  $x_0 = 106,9$  м від лівої опори.

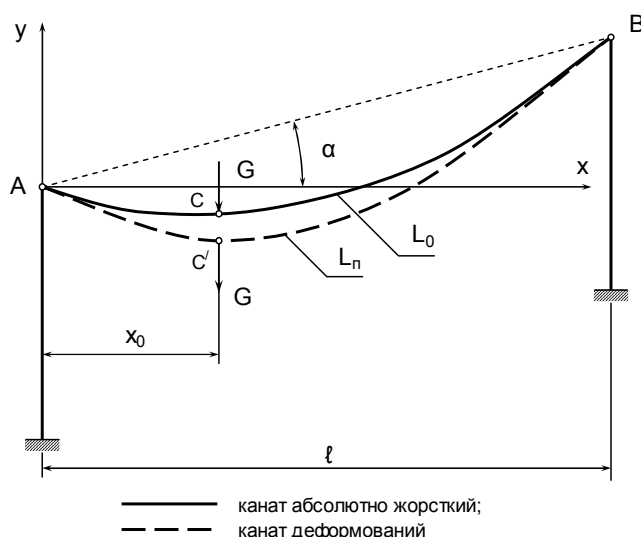


Рис. 1. Розрахункова схема несучого каната

Результати числового аналізу представлені на рис. 2 – 5. На рис. 2, 4 представлено зміну максимального натягу несучого каната залежно від його початкової довжини  $L_0$  для випадків  $\Delta t = \pm 5, \pm 10, \pm 20$  град (ліва частина) та наведено відповідну похибку, що може виникнути при неврахуванні зміни температури (права частина). На рис. 3, 5 аналогічні залежності наведені для стріли прогину.

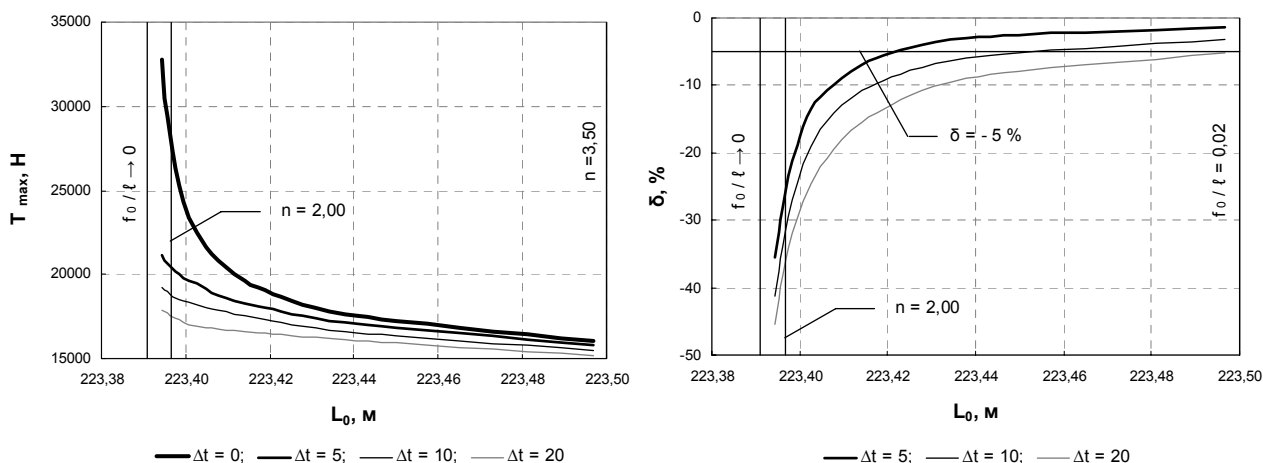


Рис. 2. Графіки залежності максимального натягу несучого каната  $T_{\max}$ , Н та можливої похибки його обчислення  $\delta$ , % від початкової довжини каната  $L_0$ , м при підвищенні температури на величину  $\Delta t$ , град

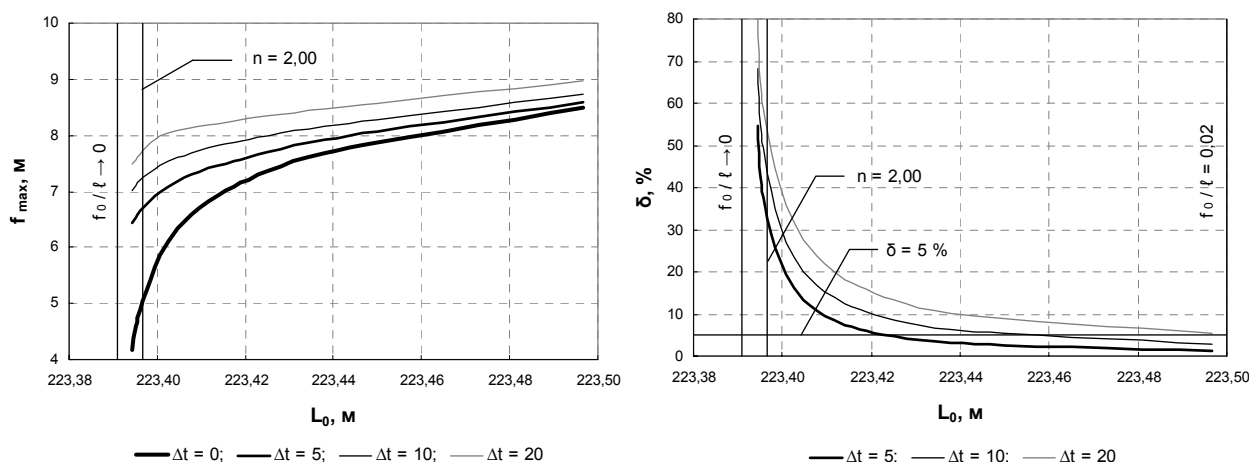


Рис. 3. Графіки залежності стріли прогину несучого каната  $f_{\max}$ , м та можливої похибки її обчислення  $\delta$ , % від початкової довжини каната  $L_0$ , м при підвищенні температури на величину  $\Delta t$ , град

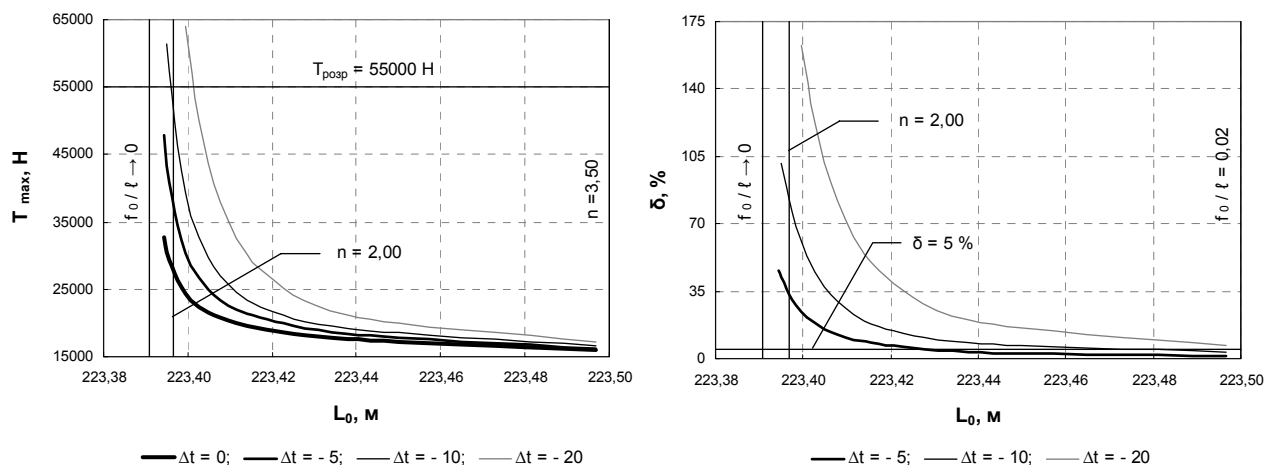


Рис. 4. Графіки залежності максимального натягу несучого каната  $T_{\max}$ , Н та можливої похибки його обчислення  $\delta$ , % від початкової довжини каната  $L_0$ , м при пониженні температури на величину  $\Delta t$ , град

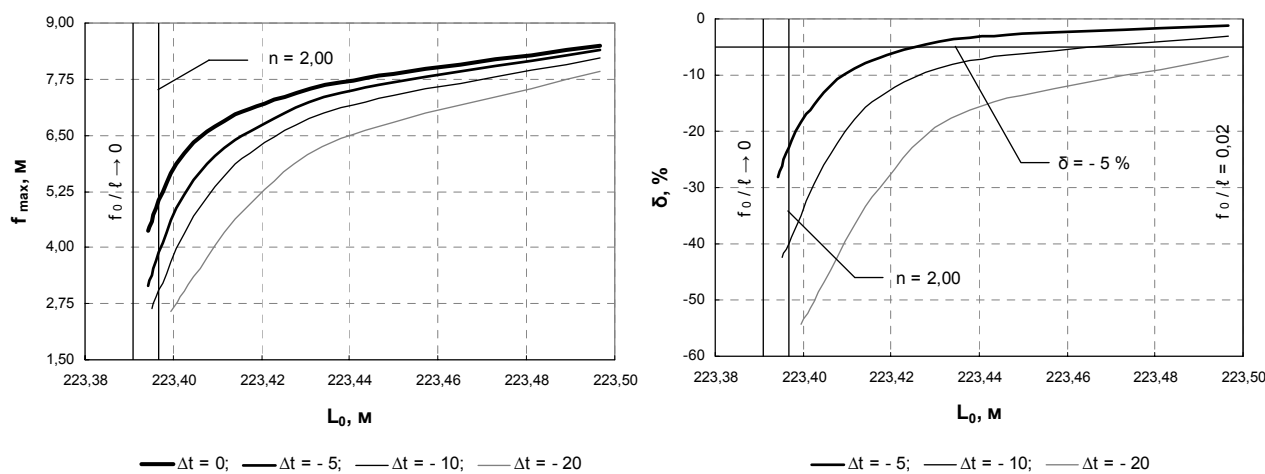


Рис. 5. Графіки залежності стріли прогину несучого каната  $f_{\max}$ , м та можливої похибки її обчислення  $\delta$ , % від початкової довжини каната  $L_0$ , м при пониженні температури на величину  $\Delta t$ , град

В результаті проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Зміна температури суттєво впливає на умови роботи несучих канатів підвісних транспортних установок. Зокрема при проектуванні установок, в яких несучі канати працюють з запасами міцності  $n_k \leq 2,0$ , неврахування можливої зміни температури каната в процесі експлуатації призводить до похибок визначення його розрахункових характеристик, що перевищують 25 %. При цьому особливо небезпечним для сильно натягнутих канатів є режим стрімкого пониження температури.

2. Якщо стріли прогину канатів перевищують 5 % довжини прольоту, то впливом зміни температури при визначенні силових та геометричних характеристик можна знехтувати, оскільки похибка обчислень в такому випадку не перевищує 5 %. Одержаний результат узгоджується з характеристиками режимів роботи висячих систем, отриманими раніше проф. Качуріним В.К [6].

3. Вплив зміни температури за своїм характером аналогічний впливу пружної деформації та податливості опор [10].

4. Для обмеження температурного впливу на умови роботи підвісних транспортних установок необхідне виконання сезонного регулювання довжини несучих канатів між закріпленнями відповідно до екстремальних температур, характерних для місць їх експлуатації.

### Література

1. Постанова Кабінету Міністрів України № 559 від 27.07.1995 „Про затвердження Правил рубок головного користування в лісах України” (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 1751 від 29.11.2000).

2. Мартинців М.П. Розрахунок основних елементів підвісних канатних лісотransпортних установок. – Київ: Ясмина, 1996. – 175 с.

3. Heinimann H.R. Seilkrantechnik. Grundzüge: Unterlagen zur Vorlesung. – Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2001. – 57 S.
4. Белая Н.М., Прохоренко А.Г. Канатные лесотранспортные установки. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 299 с.
5. Качурин В.К. Теория висячих систем. – М., Л.: Гостехиздат, 1962. – 224 с.
6. Качурин В.К. Гибкие нити с малыми стрелками. – М.: Гостехиздат, 1956. – 224 с.
7. Тисовський Л.О., Рудько І.М. Розрахунок завантаженого несучого каната транспортної установки // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: НЛТУУ. – 2005, вип. 15.5. – С. 133-138.
8. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. – М. – Л.: Машиностроение, 1966. – 484 с.
9. Меркин Д.Р. Введение в механику нити. – М.: Наука, 1981. – 240 с.
10. Адамовский Н.Г. Оптимальные режимы нагружения несущих канатов подвесных лесотранспортных установок с учётом приведённой жесткости системы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02 / Львовск. лесотехн. ин-тут. – Львов, 1984. – 24 с.

Надійшла 4.10.2006 р.

УДК 004.832.34

В.М. ЛОКАЗЮК, Є.Г. ГНАТЧУК  
Хмельницький національний університет

## АЛГОРИТМІЗАЦІЯ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ

*В статті представлено метод нечіткого логічного висновку, який дозволяє підвищити ефективність процесу діагностування комп'ютерних засобів. На основі запропонованого методу сформований алгоритм нечіткого логічного висновку.*

**Вступ.** На сьогоднішній день компоненти штучного інтелекту, зокрема експертні системи діагностування (ЕСД), широко використовуються в технічній діагностиці. Для експертних систем діагностування комп'ютерних засобів (КЗ), властива наявність різних видів діагностичної інформації: чіткої та нечіткої. При представленні нечіткої діагностичної інформації у вигляді кількісних змінних відбувається часткова втрата інформації, що призводить до неповноти опису ситуації та в наступному знижує якість роботи системи діагностування. Використання нечітких методів і алгоритмів в ЕСД КЗ дозволить врахувати всю наявну інформацію у процесі діагностування КЗ та підвищити його ефективність. Тому алгоритмізація нечіткого логічного висновку для діагностування КЗ потребує вдосконалення.

**Постановка задачі.** Відомі на сьогодні алгоритми нечіткого логічного висновку були запропоновані та використовуються для вирішення задач керування, класифікації, багатокритеріального оцінювання фінансових проектів, медичної діагностики і т. і [1-3]. У галузі технічної діагностики системи на базі нечіткого логічного висновку використовуються для діагностування нафтових та газових технологічних комплексів, для пошуку несправностей в електронних пристроях та ідентифікації відмов контрольно-вимірювальних приладів [3-5]. Усі найбільш успішні реалізації експертних систем на базі нечіткого логічного висновку призначені для вирішення задач обмежених предметних областей. Спроби розширити предметну область успіху не приносять. Отже, для застосування у галузі діагностування комп'ютерних засобів перспективним є розроблення окремої експертної системи діагностування та методу нечіткого логічного висновку.

При використанні відомих алгоритмів нечіткого логічного висновку для діагностування КЗ, виникає ряд проблем. Для нечітких експертних систем діагностування КЗ властива наявність різних видів інформації: точкових вимірів та значень параметрів; допустимих інтервалів їх зміни; статистичних законів розподілу для окремих величин; критеріїв та обмежень, отриманих від експертів у лінгвістичній формі і т. і.

Також наявні такі види нечіткості, як нечіткі дані та нечіткі знання.

До нечітких даних віднесемо:

1) нечітко задані параметри, наприклад, напруга живлення системної плати  $\pm 5$  В,  $\pm 12$  В; резистор 30-50 Ом; швидкість роботи дисководу 70-100 мс; зміна частоти головки читання запису магнітного диска в діапазоні 62,5 – 250 кГц і т. і.;

2) нечіткі технологічні дані – похибки пристроїв вимірювання;

3) використання середньостатистичних значень у випадку відсутності значень параметрів, причиною може бути відсутність або обмеженість доступу до контрольних точок.

До нечіткості знань, отриманих від експертів, призводять неточність експертних оцінок, невизначеність понять та термінів. Прикладом нечітких знань є оцінки експертів: “температура близька до 70°C”, “діапазон зміни параметра від 2 до 5, “холодний”, “гарячий” і т. і. Наявність різних видів нечіткості при описі процесу діагностування КЗ експертами призводить до труднощів представлення інформації у системі діагностування. А саме, виникає проблема інтерпретації даних на нечітку шкалу, оскільки існує ймовірність

виникнення похибки, яка в подальшому суттєво вплине на результати діагностування.

Розроблення методу нечіткого логічного висновку, який дозволить розв'язати ці проблеми, є актуальною задачею.

**Огляд існуючих рішень.** З відомих алгоритмів нечіткого логічного висновку: алгоритму Мамдані, алгоритму Сугено і Такагі, алгоритму Ларсена, алгоритму Цукамото, у системах діагностування частіше використовуються алгоритми Мамдані та Сугено. Суттєва різниця між цими алгоритмами полягає у способах задання значень вхідних та вихідних змінних і формах представлення нечітких продукцій, що утворюють базу правил системи нечіткого логічного висновку.

Алгоритм Сугено [6 – 9] при формуванні бази правил вимагає вказання значень певних вагових коефіцієнтів сума яких дає значення вихідної змінної, що визначається як деяке дійсне число; під час виконання наступних етапів нечіткого висновку розрахунки здійснюються зі звичайними (чіткими) значеннями змінних. Враховуючи особливості процесу діагностування КЗ, алгоритм Сугено формально не може бути використаний у експертній системі діагностування КЗ.

Алгоритм Мамдані [6 – 9] має ряд недоліків, зокрема, перед початком етапу агрегування, який визначає ступінь істинності умов за кожним з правил системи висновку, розуміється, що наперед відомі ступені істинності всіх підумов системи нечіткого висновку. Визначення цих ступенів істинності потребує попереднього експертного опрацювання, що є складною задачею для експертів. Це ж стосується і процесу активізації.

Отже, використання алгоритму Мамдані у формальному вигляді без модифікації в системі діагностування КЗ не є доцільним. Для модифікації алгоритму Мамдані необхідно дослідити особливості нечіткого логічного висновку процесу діагностування КЗ.

**Метод нечіткого логічного висновку.** Основною структурною одиницею при діагностуванні КЗ є діагностичні ознаки [10].

Під діагностичною ознакою будемо розуміти ознаку прояву деякої несправності.

Необхідність врахування великої кількості різномірної інформації в процесі накопичення знань про предметну область призводить до ускладнення процесу нечіткого логічного висновку. У процесі діагностування КЗ у багатьох випадках можна визначити несправність за візуальними ознаками її прояву та усунути причину виникнення несправності в процесі роботи КЗ. Це дозволяє підвищити ефективність діагностування за рахунок зменшення витрат часу та ресурсів. Тому доцільним є проведення класифікації діагностичних ознак за рівнем візуального прояву.

*Визначення 1.* Рівнем візуального прояву (РВП) будемо вважати ступінь доступності ознак прояву несправностей для органів чуттів користувача.

Діагностичні ознаки розділимо на три рівні.

*Визначення 2.* Діагностичними ознаками 1-го РВП будемо називати ознаки, які мають найвищий ступінь доступності для органів чуттів користувача, тобто їх прояв користувач може побачити або почути.

Прикладами таких ознак є: перезавантаження операційної системи; вимкнення монітора; наявність або відсутність шуму; звукові сигнали і т. і.

*Визначення 3.* Діагностичними ознаками 2-го РВП будемо називати ознаки, які можна виявити на основі ознак 1-го рівня та комплексу додаткових дій.

Прикладами таких дій є: перевірка температури блоку живлення; запуск діагностичного програмного забезпечення; програмне тестування складових КЗ і т. і.

Діагностичні ознаки 1-го та 2-го рівня не є критичними по відношенню до цілей користувача, тобто виявлення діагностичних ознак цих рівнів не вимагає припинення вирішення задачі користувачем та вимкнення комп'ютерного засобу.

*Визначення 4.* Діагностичними ознаками 3-го рівня візуального прояву будемо називати ознаки, які можна виявити лише після припинення вирішення цільової задачі або (та) вимкнення комп'ютерного засобу.

Прикладами таких ознак є: перевірка коректності встановлення мікросхем; перевірка наявності контактів в роз'ємних з'єднаннях; перевірка параметрів транзисторів, резисторів, конденсаторів і т. і.

Діагностичні ознаки 3-го рівня вважаються критичними по відношенню до цілей користувача.

Для  $h$  несправностей представимо множину діагностичних ознак як:

$$DZ = \{dz_j\}; j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

де  $dz_j$  –  $j$ -та діагностична ознака;  $m$  – кількість ознак.

Кожна діагностична ознака описується за допомогою набору характеристик.

Для  $m$  діагностичних ознак маємо множину характеристик, які описані нечіткими змінними, що являють собою лінгвістичні терми. Наприклад, перезавантаження операційної системи представлено характеристиками, які відображають інтервальні часові параметри: “3с – 10с”, “10с – 30с”, “30с – 60с” і т. д.

Множину характеристик для  $m$  діагностичних ознак представимо наступним чином:

$$A = \{a_{ji}^p\}, \quad (2)$$

де  $a_{ji}^p$  –  $i$ -та характеристика  $j$ -ї діагностичної ознаки,  $i = \overline{1, r}$ ,  $r$  – кількість характеристик;  $p$  –

порядок характеристики, який відповідає рівню діагностичної ознаки,  $p = \overline{1,3}$ .

На основі класифікації діагностичних ознак метод нечіткого логічного висновку визначимо наступним чином:

а) виділяється множина діагностичних ознак

$$DZ = \bigcup_{i=1}^r A_i, \quad (3)$$

де  $A_i$  – множина характеристик діагностичних ознак.

б) на основі множини діагностичних ознак визначається множина припущень експерта про можливість наявності тієї чи іншої несправності:

$$Z_i = \bigcup_{j=1}^m DZ_j. \quad (4)$$

Множина припущень групи експертів:

$$Z_{\text{гр}} = \bigcup_{i=1}^q Z_i; \quad (5)$$

в) можлива причина несправності визначається шляхом відбору припущень з функціями належності, які мають ступені впевненості більші або рівні 0,7:

$$y_i = (Z_i, \mu_{Z_i} \geq 0,7). \quad (6)$$

На основі (6) формується множина можливих причин несправностей:

$$Y_n = \{y_i\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де  $n$  – кількість можливих причин несправностей.

У результаті використання цього методу користувач отримує інформацію про декілька або одну причину, що викликає несправність.

**Алгоритм нечіткого логічного висновку.** На основі запропонованого методу сформуємо алгоритм нечіткого логічного висновку. Розглянемо його поетапно.

1. Фазифікація вхідних змінних.

При встановленні відповідності між значеннями вхідних змінних системи діагностування та значеннями функцій належності відповідних їм термів виникає ряд проблем, таких як: вибір градації шкал для різних видів інформації, узгодження шкал, достовірність відображення інформації на нечіткі шкали та інше.

Для опису об'єкта та процесу діагностування використаємо шкали, що відображають: температурні та частотні режими; часові параметри; швидкісні характеристики; кількісні показники; звукові сигнали і т. і.

При виборі градації шкал пропонується використовувати бальні порядкові шкали з зазначенням необхідних проміжків. Для побудови функцій належності використовується прямий метод – експерт або група експертів задають для кожної змінної  $A$  значення функції належності  $\mu_A$  [6]. Узгодження шкал проводиться з урахуванням ступеня компетентності кожного експерта [11].

Показником кваліфікації експерта для основних типів задач є інтегрована характеристика якості вирішення задач ( $Qv$ ), котра впливає на оцінку рівня компетентності експерта:

$$Qv = \sum_{i=1}^d vz_i / d, \quad (8)$$

де  $vz$  - кількість успішно вирішених задач,  $d$  – загальна кількість вирішуваних експертом задач.

Перед початком вирішення задачі  $Qv = 0$ . Після закінчення роботи експерта з системою при успішному вирішенні задачі  $vz = 1$ , інакше  $vz = 0$ .

На основі значення  $Qv$  кожному експерту виставимо оцінку з інтервалу  $s \in [0,1]$ , яка відображає рівень його компетентності, де  $s = 1$  для кращого експерта. Для спеціалістів з нижчим рівнем кваліфікації має виконуватись умова  $0,6 \leq s < 1$ . Інформація, надана експертами, рівень компетентності яких менше 0,6, не враховується.

В якості прикладу узгодження шкал розглянемо оцінку температурного режиму системного блоку КЗ трьома експертами.

Приклад: наявне нечітке висловлювання типу "Системний блок гарячий", його необхідно інтерпретувати на нечітку шкалу – температурний режим системного блоку. Експертна оцінка ситуації наведена на рис. 1 – 3.

Узгодження шкал оцінок експертів полягає в побудові результуючих шкал, які відображають підсумкове значення певної оцінки. Значення цієї оцінки отримується шляхом знаходження середнього з мінімальних та максимальних значень усіх наявних шкал.

Проведемо узгодження шкал для прикладу, що розглядається. Розглядатимемо шкали  $[b_1, c_1]$ ,  $[b_2, c_2]$ . Тоді лівий кінець шкали визначатимемо як:

$$b' = \min(b_1, b_2) + \frac{\max(b_1, b_2) - \min(b_1, b_2)}{2} = \frac{\max(b_1, b_2) + \min(b_1, b_2)}{2}. \quad (9)$$

Аналогічно цьому визначатимемо і правий кінець шкали.

Одержані значення  $[b', c']$  вважатимемо усередненим значенням шкал  $[b_1, c_1]$ ,  $[b_2, c_2]$  і використаємо їх для узгодження зі шкалою оцінки третього експерта  $[b_3, c_3]$ . У результаті отримуємо шкалу  $[b'', c'']$  (рис. 4 – 6).

Аналогічним чином проводиться узгодження більшої кількості шкал, які відображають оцінки довільної кількості експертів. Інші шкали (наприклад, часові параметри, швидкісні характеристики, кількісні показники і таке ін.) узгоджуються за цим же принципом.

## 2. Формування робочої бази правил системи нечіткого висновку.

База правил системи нечіткого висновку являє собою скінченну множину правил нечітких продукцій виду:

$$P_i = IF \ x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } \dots x_j \text{ is } A_j \text{ AND } \dots x_k \text{ is } A_k \text{ THEN } y_i \text{ is } R_i, \quad (10)$$

де  $P_i$  –  $i$ -те правило-продукція,  $i = \overline{1, g}$ ,  $g$  – кількість правил;  $x_j$  – вхідні параметри,  $j = \overline{1, k}$ ,  $k$  – кількість вхідних параметрів,  $X_k = \{x_j\}$ ;  $A_j$  – нечітка змінна (терм лінгвістичної змінної);  $y_i$  – вихідні параметри,  $i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – кількість вихідних параметрів,  $Y_n = \{y_i\}$ ;  $R_i$  – наслідок правила.

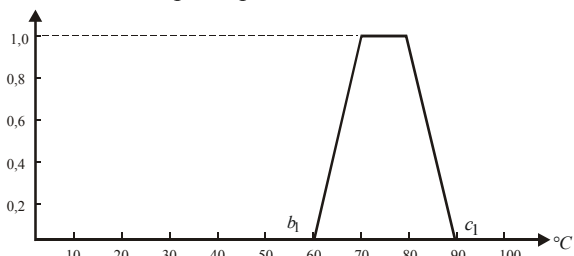


Рис. 1. Відображення нечітких висловлювань першого експерта

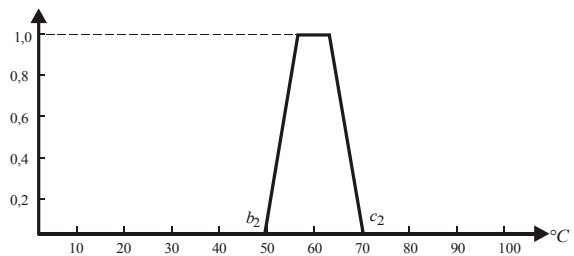


Рис. 2. Відображення нечітких висловлювань другого експерта

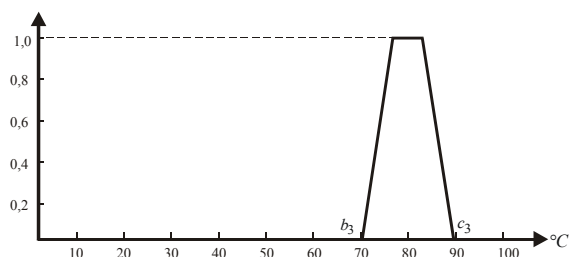


Рис. 3. Відображення нечітких висловлювань третього експерта

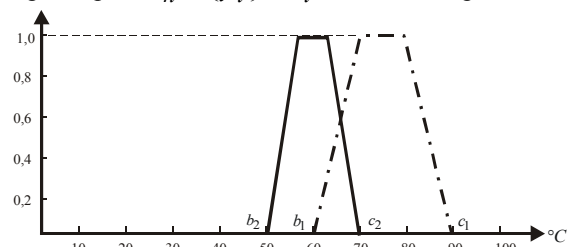


Рис. 4. Узгодження ділянки температурного режиму системного блоку першим та другим експертами

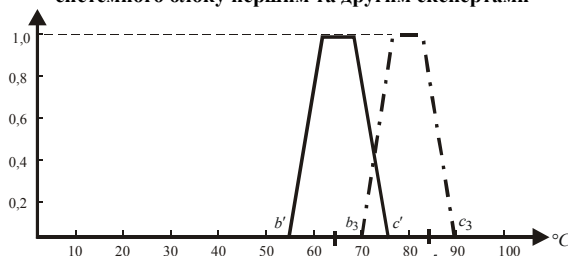


Рис. 5. Узгодження ділянки температурного режиму системного блоку попередніми двома та третім експертами

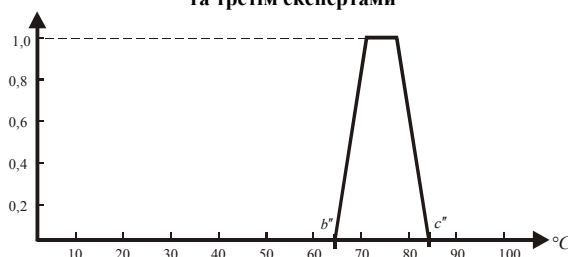


Рис. 6. Результат узгодження шкал температурного режиму системного блоку групою експертів

Принцип формування робочої бази правил для проведення нечіткого висновку продемонструємо на наступному прикладі: необхідно виявити причину перезавантаження комп'ютерного засобу під час його функціонування. Для цієї несправності наявна множина вхідних змінних різних рівнів візуального прояву  $X_k = \{x_j\}$ , що представляють такі діагностичні ознаки:  $x_1$  – програмний додаток, з яким працював користувач на момент перезавантаження;  $x_2$  – час протягом якого працював комп'ютерний засіб до моменту перезавантаження;  $x_3$  – наявність зависання перед перезавантаженням;  $x_4$  – частота та повторюваність перезавантаження;  $x_5$  – рівень дефрагментації жорсткого диску;  $x_6$  – термін експлуатації жорсткого диску;

$x_7$  – температурний режим складових ОД;  $x_8$  – тактова частота процесора;  $x_9$  – кількість пристроїв або додатків, які звертаються до послідовних портів;  $x_{10}$  – швидкість обміну інформацією між жорстким диском та оперативною пам'яттю;  $x_{11}$  – напруга у мережі живлення;  $x_{12}$  – коректність встановлення складових КЗ і т. д.

Кожна вхідна змінна представлена множиною нечітких лінгвістичних термів. Звертаємося у базу знань нечіткої експертної системи діагностування для відбору множин правил для проведення нечіткого логічного висновку. Виділяємо діагностичні ознаки 1-го рівня візуального прояву (РВП) та відбираємо всі правила, у яких вони містяться у якості вхідних та вихідних параметрів.

Для визначення якості відібраних правил сформуємо критерії інформативності правил.

*Визначення 5.* Критерій інформативності правил. При опрацюванні ознак  $i$ -го РВП інформативність правил характеризується наступними умовами:

- якщо в правилі містяться ознаки тільки  $i$ -го РВП – це правило вважається інформативним для вирішення даної задачі і йому присвоюється ваговий коефіцієнт 1;
- якщо в правилі містяться крім ознак  $i$ -го РВП ознаки наступних РВП, то правило вважається таким, що містить бажану інформацію для вирішення даної задачі, значення його вагового коефіцієнта буде рівне 0,5.

Після відбору правил за описаним критерієм необхідно перевірити її на предмет несуперечливості та дублювання.

Якщо при однаковому наборі вхідних значень правила в якості вихідних параметрів фігурують різні несправності, тобто, якщо  $\exists P_1$  та  $P_2$  і  $A_{1i} = A_{2i}$ , а  $y_1 \neq y_2$ , то правило вважається суперечливим.

Якщо існує деяка множина виду (10), наприклад:

$$P_1 = IF A_1 AND A_2 THEN y_1 ,$$

$$P_2 = IF A_2 AND A_3 THEN y_1 ,$$

$$P_3 = IF A_1 AND A_2 AND A_3 THEN y_1 , \text{ то правила } P_1 \text{ та } P_2 \text{ вважаються такими, що}$$

дублюються.

3. Етапи агрегування, активізації та акумуляції.

Ці етапи виконуються на основі вищеописаного методу нечіткого логічного висновку.

Кількість причин несправностей має бути обмеженою, оскільки немає сенсу здійснювати перевірку великої кількості несправностей. Вважатимемо, що користувач може перевірити кількість причин не більше п'яти. Якщо  $n > 5$ , то  $p = p + 1$ , тобто, коли в результаті перевірки за ознаками 1-го РВП кількість можливих причин несправностей більше п'яти, то можливу причину необхідно уточнити шляхом визначення діагностичних ознак 2-го РВП. Якщо ж аналіз діагностичних ознак 1-го і 2-го рівнів не дав змоги виявити можливі причини несправностей, то переходять до виявлення несправностей з врахуванням діагностичних ознак 3-го рівня.

Відбираємо правила зі ступенями істинності умов, відмінні від нуля, вони, в свою чергу, вважаються активними та використовуються для подальших розрахунків.

4. Дефазифікація вихідних змінних.

В алгоритмі Мамдані цей етап здійснюється за допомогою методу центру тяжіння або методу центру площі. В процесі діагностування КЗ крім нечітких наявні також чіткі дані, які інтерпретуються на нечітку шкалу у вигляді одноточкових множин. Метод центру площі не може бути використаний у випадку одноточкових множин. Тому в алгоритмі використовуємо метод центру тяжіння, у якому результат дефазифікації обчислюється за формулою [6]:

$$y = \frac{\max \int \tilde{y} \cdot \mu(\tilde{y}) dy}{\max \int \mu(\tilde{y}) dy}, \quad (11)$$

де  $y$  - результат дефазифікації;  $\tilde{y}$  – вихідна лінгвістична змінна;  $\mu$  – функція належності вихідного параметра.

У випадку одноточкових множин [6]:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{y}_i \cdot \mu(\tilde{y}_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(\tilde{y}_i)}, \quad (12)$$

де  $n$  – кількість одноточкових нечітких множин.



Блок-схема алгоритму нечіткого логічного висновку представлена на рис. 7.

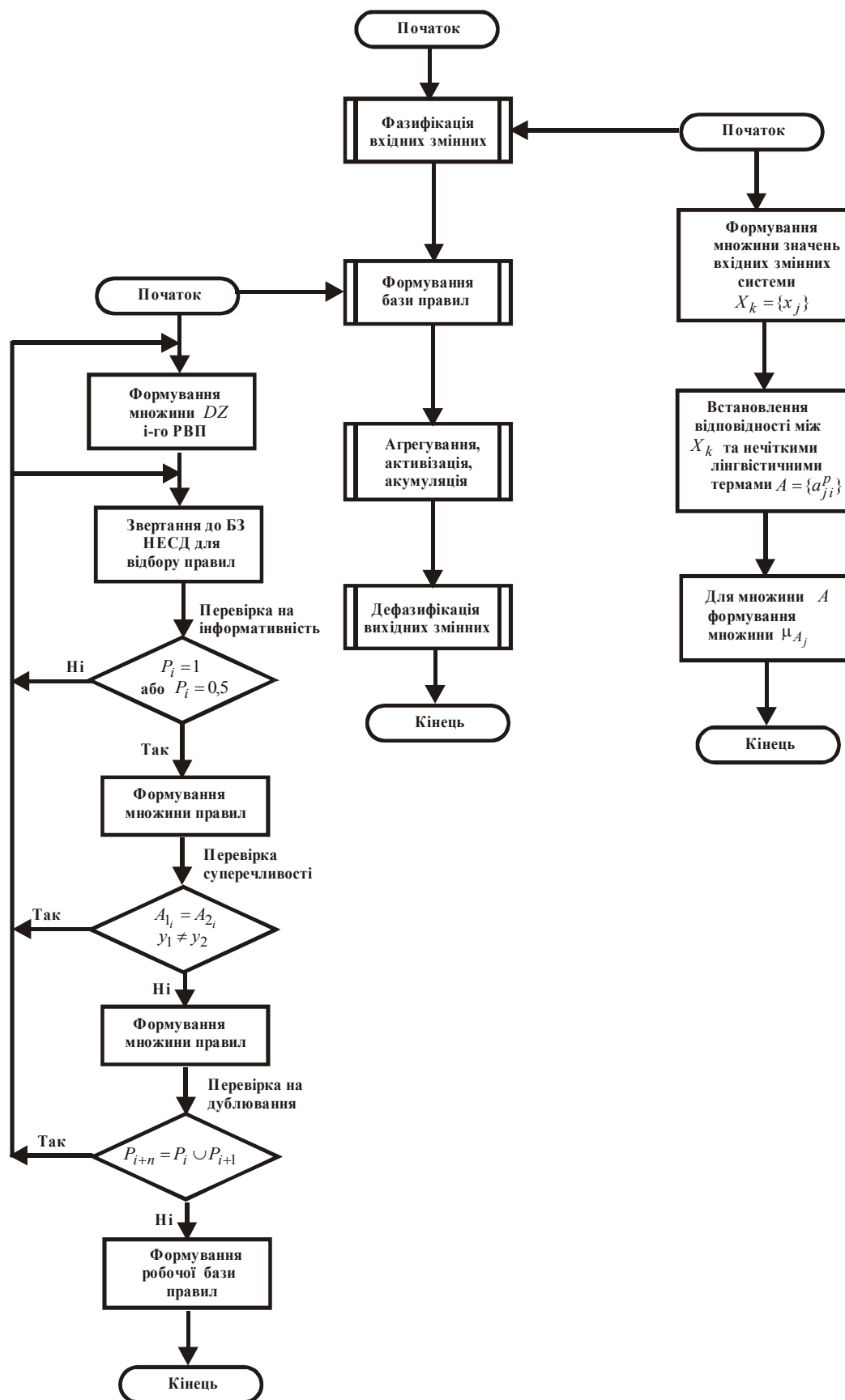


Рис. 7. Блок-схема алгоритму нечіткого логічного висновку

### Висновки

На основі запропонованої класифікації діагностичних ознак за рівнем їх візуального прояву розроблено метод нечіткого логічного висновку процесу діагностування КЗ. Метод дає змогу підвищити ефективність

процесу діагностування за рахунок здійснення процесу діагностування з врахуванням цільових задач користувача та якісної експертної інформації. За допомогою запропонованого методу сформовано алгоритм нечіткого логічного висновку для експертних систем діагностування КЗ.

### Література

1. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
2. Фрэнк Дж. Бартос. Искусственный интеллект: принятие решений в сложных системах управления // CONTROL ENGINEERING.
3. Рыбина Г.В. Особенности и принципы построения интегрированных экспертных систем для диагностики сложных технических систем // Приборы и системы управления. – 1998, № 9, с. 12-16.
4. В. Kosko. Neural Networks and Fuzzi Systems. Ehglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
5. Прикладные нечеткие системы / Под. ред. Т. Тэрано. – М.: Мир, 1993.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.: ил.
7. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy idetification of system and its applications to modeling and control // IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics, V. 15, 1985.
8. Mamdani E.N., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with fuzzi logic controller // Interational Journal of Man-Machine Studies, V. 7, № 1, 1975.
9. Santos E. Fuzzy Algorithms // Inf. Control. 1970. V.1 7.
10. Гнатчук Є.Г. Моделювання нечіткого логічного висновку процесу діагностування комп'ютерних засобів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВНТУ. – 2005. – № 6 (63). – С. 220 – 224.
11. Gnatchuk E.G. Knowledge base of fuzzy diagnosis expert system of computer devices // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”. – 2006. – № 7 (19). – С.121 – 125.

Надійшла 23.10.2006 р.

УДК 004.896

О.В. ПОМОРОВА

Хмельницький національний університет

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

*У статті пропонується для оцінки ефективності інтелектуальних систем діагностування комп'ютерних пристроїв та систем враховувати як класичні показники діагностування, так і показники, котрі характеризують ефективність компонентів штучного інтелекту, що є у складі системи діагностування. Наведено спосіб оцінки ефективності блоку-вирішувача та загальної ефективності системи діагностування. Результати роботи можуть використовуватись у галузі інтелектуальних діагностичних систем.*

**Вступ.** Сучасні комп'ютерні пристрої та системи (КП і КС) є складними апаратно-програмними комплексами, що постійно вдосконалюються, розвиваються та модернізуються. Використання КП і КС у провідних високотехнологічних сферах господарської діяльності людини (зв'язок, медицина, банківська діяльність, системи управління складними технологічними процесами і т.і.) вимагає забезпечення високого рівня надійності їх функціонування. Одним із шляхів підвищення надійності є розроблення і впровадження ефективних засобів контролю і діагностування КП та КС, а саме інтелектуалізація систем діагностування.

Для оцінки ефективності інтелектуальних систем діагностування (ІСД) використання відомих методик є практично неприйнятним за причини неврахування ними специфіки компонентів штучного інтелекту [1-3].

У літературі на сьогодні недостатньо висвітлені питання оцінки ефективності та вибору критеріїв ефективності систем діагностування, що містять у своєму складі компоненти штучного інтелекту, тому дослідження цих питань є актуальною задачею.

**Постановка задачі.** Для проведення оцінки ефективності інтелектуальних систем діагностування КП та КС необхідно визначити характеристики і показники діагностування та побудувати критерії ефективності таких систем, з врахуванням особливостей наявних у них компонентів штучного інтелекту.

**Інтелектуальні системи діагностування КП та КС.** Інтелектуалізація систем технічного діагностування здійснюється на основі інтеграції у них таких компонентів штучного інтелекту, як продукційні правила, нечітка логіка, штучні нейронні мережі (ШНМ), евристичний пошук та класифікація [4-6].

Незалежно від типу використовуваних компонентів штучного інтелекту, виділимо основні структурні компоненти ІСД, котрі залишаються незмінними у різних реалізаціях (рис.1). Повнота та засоби реалізації цих

структурних компонентів визначають характеристики, на основі яких здійснюється оцінка ефективності їх використання у ІСД.

Найбільш суттєво впливають на ефективність ІСД наступні підсистеми та їх показники:

1. База знань. Її ефективність залежить від таких характеристик, як повнота, універсальність представлення знань, можливості засобів по внесенню та утилізації інформації. Вказані характеристики дають змогу визначити витрати на такі процеси, як впровадження та супровід ІСД, вимоги до рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу. Визначальною складовою бази знань є модель об'єкта діагностування (ОД). Повнота моделі ОД впливає на точність та глибину діагностування.

2. Засоби моніторингу. Їх можливості впливають на кількість та точність параметрів ОД, що використовуються для ідентифікації його поточного стану.

3. Модуль опрацювання вхідної інформації визначає форми представлення та види інформації, котрі опрацьовуються ІСД. Наявність засобів опрацювання різних видів інформації підвищує достовірність діагностування ОД.

4. Наявність модуля інтеграції компонентів штучного інтелекту забезпечує подальший розвиток та можливості нарощення функціональності ІСД, розширення номенклатури ОД.

5. Модуль-вирішувач є основною складовою ІСД, він проводить кластеризацію та ідентифікацію станів ОД. Його характеристики впливають на достовірність та своєчасність діагностування.

6. Модуль самонавчання забезпечує можливості по підвищенню повноти діагностування.

7. Модуль прийняття рішення про стан ОД визначає навантаження на користувача ІСД – одержить користувач однозначну відповідь про стан ОД чи він сам має визначити результат діагностування. Відповідно характеристики цього модуля впливають на вимоги до рівня кваліфікації користувачів ІСД.

8. Інтерфейсний модуль забезпечує розуміння користувачем ходу процесу діагностування та результатів функціонування ІСД і визначає можливості по настроюванню системи діагностування. З однієї сторони – його реалізація підвищує вартість ІСД, з іншої – якість інтерфейсу впливає на рішення стосовно доцільності впровадження системи діагностування. Спосіб відображення діагностичної інформації визначає ступінь розуміння користувачем результатів роботи системи діагностування.

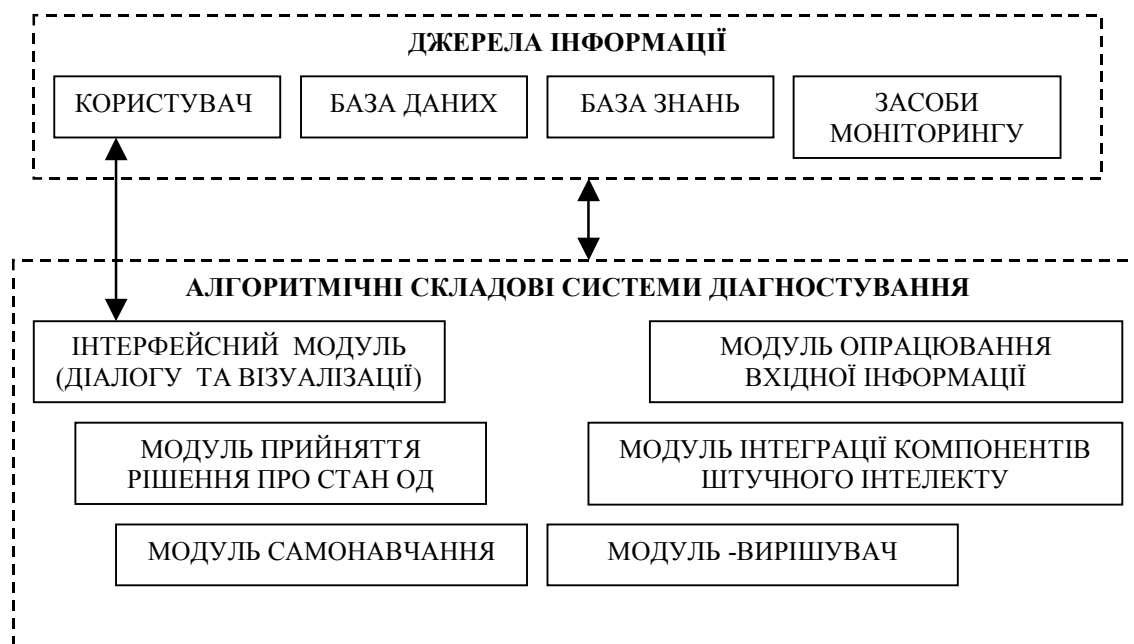


Рис. 1. Структурні одиниці інтелектуальних систем діагностування КП та КС

Загальну оцінку ефективності ІСД КП та КС проведемо з врахуванням оцінок ефективності її структурних одиниць.

**Оцінка ефективності модуля-вирішувача.** Основним модулем, що визначає ефективність функціонування ІСД є модуль-вирішувач, оскільки результатом його роботи є визначення стану ОД. У якості прикладу розглянемо принципи та способи оцінки ефективності модуля-вирішувача, котрий проводить кластеризацію станів КП чи КС з використанням штучних нейронних мереж архітектур адаптивного резонансу (ART) і карти Кохонена (SOM) (рис. 2) [7].

Використання карти Кохонена для кластеризації станів КП та КС зумовлено її можливостями збереження топології вхідного простору при кластеризації та забезпечення локального характеру навчання у межах кожного кластера і відповідно відсутності ефекту рівномірного розподілу помилки навчання між кластерами (на відміну від багатошарових мереж зі зворотнім поширенням помилки).

Використання мережі ART дає можливість провести кластеризацію не тільки відомих станів, а й організувати виявлення невідомих раніше станів та подальше самонавчання засобів діагностування КП та КС.

Обидві мережі навчаються без учителя, що не обмежує їх можливості по виявленню невідомих раніше станів КП та КС.

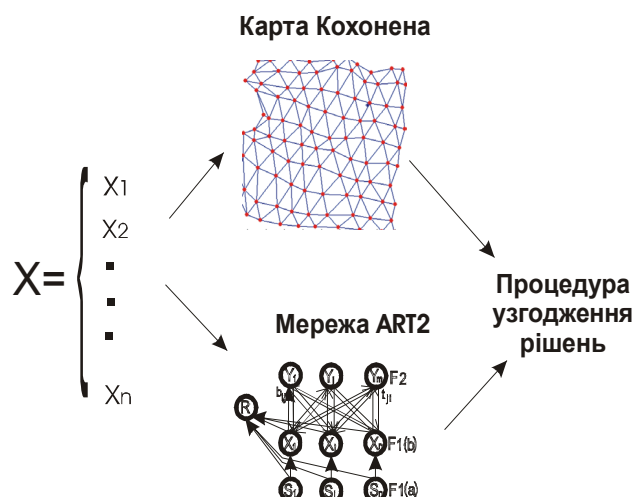


Рис. 2. Організація модуля – вирішувача ІСД КП та КС

Вхідною інформацією для обох ШНМ є множина векторів інформаційних описів  $X = \{x(\omega)\}$ , кожен з яких складається з  $n$  елементів і містить знання про параметри та характеристики об'єктів діагностування:

$$x(\omega) = |x_i(\omega)|_{i=1}^n, \quad (1)$$

де  $\omega$  – стан з множини станів  $\Omega = \{\omega\}$ .

Результатом їх функціонування є розділення простору станів  $\Omega$  на  $K$  класів  $\Omega = \bigcup_{i=1}^K \Omega_i$  та

безпосереднє відображення номеру класу, до якого належить стан КП чи КС, що описується вектором  $x_i(\omega)$ .

Для оцінки ефективності функціонування модуля – вирішувача необхідно оцінити якість вектора інформаційного опису, оскільки основними чинниками, що впливають на точність оцінки стану ОД крім архітектури нейромережі є якість її навчання, котра визначається складом, повнотою та інформативністю навчальної вибірки.

Вибір елементів вектора інформаційного опису залежить від особливостей апаратних та програмних складових КП та КС, таких як: наявність вбудованих апаратних реалізацій датчиків температур, програмних засобів одержання значень напруг живлення, частот, температур компонентів ОД, BIOS системної плати, SMART жорстких дисків, драйверів відео та звукових карт, діагностичних можливостей операційної системи та прикладного програмного забезпечення, наявності даних про програмні складові КП та КС, статистичних даних про значення їх параметрів та характеристик, та баз знань про них.

Для оцінки повноти та інформативності множини  $X = \{x(\omega)\}$  введемо критерії значимості, якості та повноти вектора інформаційного опису.

*Критерієм значимості* елемента вектора інформаційного опису є його інформативна цінність, що визначає загальні ідентифікаційні властивості вектора інформаційного опису стану ОД.

*Визначення 1.* Елемент вектора інформаційного опису  $x_i(\omega)$  стану  $\omega$  має інформативну цінність  $v(x_i(\omega))$  рівну 1, якщо після виключення цього елемента зі складу вектора  $x(\omega)$  ідентифікація стану  $\omega$  стає неможливою.

*Визначення 2.* Підмножина елементів вектора інформаційного опису  $|x_i(\omega)|_{i=1}^k$ ,  $k \leq n$ , стану  $\omega$  має інформативну цінність  $v|x_i(\omega)|_{i=1}^k = 1$ , якщо після її виключення зі складу цього вектора ідентифікація стану  $\omega$  стає неможливою.

У іншому випадку інформативна цінність елементів чи підмножин елементів вектора інформаційного опису рівна нулю.

*Визначення 3.* *Інформативна цінність*  $V(x)$  множини значень вектора інформаційного опису є відношенням суми значень інформативної цінності його елементів до загальної кількості з  $n$  елементів:

$$V(x) = \frac{\sum_{j=1}^n v(x_j)}{n}. \quad (2)$$

*Визначення 4. Загальний критерій якості вектора інформаційного опису.* Вектор інформаційного опису  $x$ , інформативна цінність якого рівна одиниці або близька до неї, називатимемо якісним і вважатимемо, що його  $V(x) \rightarrow \max$ .

Нехай існує множина значень  $C_{PR}$  усіх параметрів та характеристик апаратних та програмних складових КП чи КС:  $C_{PR} = \{c\}$ . Інформативну цінність елементів та груп елементів множини  $C_{PR}$  визначимо аналогічно.

*Визначення 5. Інформативна цінність  $V(c(\omega))$  множини значень параметрів та характеристик апаратних і програмних складових КП чи КС для стану  $\omega$  є відношенням суми значень інформативної цінності її елементів до загальної кількості з  $m$  елементів:*

$$V(c) = \frac{\sum_{j=1}^m v(c_j(\omega))}{m}. \quad (3)$$

*Твердження 1.* При зростанні кількості параметрів та характеристик КП чи КС значення  $V(c)$  буде прямувати до нуля:  $V(c) \rightarrow 0$ , оскільки інформативно цінними для стану  $\omega$  залишатимуться один або декілька параметрів чи характеристик.

*Визначення 6. Критерій повноти вектора інформаційного опису.* Вектор інформаційного опису стану  $\omega$  назвемо повним, якщо:

$$c(\omega) = x(\omega). \quad (4)$$

Одержання повного вектора інформаційного опису є практично неможливим за причини недоступності багатьох параметрів КП та КС для визначення їх значень на етапі експлуатації. Для відображення того, наскільки вектор інформаційного опису близький до повного, введемо поняття ідентифікаційної здатності.

*Визначення 7. Ідентифікаційною здатністю вектора інформаційного опису стану КП чи КС називатимемо відношення інформативної цінності множини значень вектора інформаційного опису (2) до інформативної цінності множини значень усіх відомих параметрів та характеристик апаратних і програмних складових КП чи КС (3):*

$$I(x) = \frac{V(x)}{V(c)}. \quad (5)$$

*Визначення 8. Відносний критерій якості вектора інформаційного опису.* При ідентифікації стану КП чи КС більш якісним є той вектор інформаційного опису, ідентифікаційна здатність якого більша.

*Визначення 9. Абсолютний критерій якості вектора інформаційного опису.* Якщо для двох векторів інформаційного опису  $x^1$  і  $x^2$  виконується нерівність  $(V(x^1) - V(x^2)) > 0$ , то вектор  $x^1$  є більш якісним, інакше більш якісним є вектор  $x^2$ .

Викладені вище критерії дають можливість провести оцінку інформативної цінності, ідентифікаційної здатності та якості множини векторів інформаційного опису  $X$  і прийняти рішення про ефективність її використання для навчання ШНМ або необхідність подальших досліджень параметрів та характеристик КП чи КС.

Стосовно вибору оптимальних архітектур нейромереж (кількості шарів та нейронів у шарах), то на сьогодні розроблено та конкретизовано процедури вибору оптимальних архітектур лише для нейромереж, що навчаються з учителем (перцептронів) [8, 9], для оцінки характеристик інших нейромережних архітектур використовуються експериментальні дослідження, що базуються на вивченні якості кривих навчання та кривих тестування [10].

*Визначення 10.* Помилку при кластеризації стану  $\omega$ , вектор інформаційного опису якого належить до навчальної вибірки, вважатимемо помилкою навчання.

*Визначення 11.* Помилку при кластеризації стану  $\omega$ , вектор інформаційного опису якого належить до тестової вибірки, вважатимемо помилкою узагальнення.

Відмінності точності кластеризації на навчальній і тестовій вибірках викликаються тим, що:

1) обсягу тестової вибірки недостатньо для її показовості й тестова вибірка не є адекватною навчальній;

2) нейромережа, що кластеризує стани ОД, не адекватна ОД (наприклад, її структура надлишкова й при навчанні запам'ятовується шумовий компонент даних). Така ситуація виникає у випадку наявності великої кількості нейронів у вихідному шарі SOM мережі, або при встановленні малого чи великого значення параметру контролю у мережі ART;

3) вектори інформаційного опису тестової та навчальної вибірок мають суттєву різницю ідентифікаційної здатності, що також призводить до неадекватності тестової та навчальної вибірок.

Способом підвищення ефективності кластеризації є узгодження обсягів вибірок, структури ШНМ та ідентифікаційних здатностей векторів інформаційних описів навчальної та тестової вибірок.

Нехай навчальна вибірка  $P_l$  містить  $N_l$  кількість векторів інформаційного опису станів з множини  $\Omega$  з ідентифікаційною здатністю  $I_\omega$  для кожного:  $P_l = \{x_j(I_\omega)\}$ ,  $j = \overline{1, N_l}$ . Відповідно тестова вибірка  $P_t$  містить  $N_t$  кількість векторів:  $P_t = \{x_j(I_\omega)\}$ ,  $j = \overline{1, N_t}$ .

Для мереж ART і SOM оцінку точності кластеризації станів  $Q(N_l)$  здійснюватимемо на основі співвідношень кількості помилок ШНМ на навчальній  $q_l$  і тестовій  $q_t$  вибірках для різних кількостей векторів інформаційного опису  $N_l$  у навчальній вибірці при фіксованих значеннях їх ідентифікаційної здатності  $I_\omega$ , розміру тестової вибірки  $N_t$  та розміру ШНМ з  $R$  нейронів:

$$Q_{IRN_t}(N_l)_j = \frac{q_l}{q_t}, \quad j = \overline{1, N_l}. \quad (6)$$

Кількість векторів  $N_l$ , при якій буде досягнуто максимальне значення  $Q_{RP}(N_l)$ , вважатимемо оптимальною та зафіксуємо.

Здійсимо оцінку залежності точності кластеризації станів від кількості нейронів у вихідних шарах ШНМ  $R$  при фіксованих значеннях їх ідентифікаційної здатності  $I_\omega(x)$  та кількості векторів інформаційного опису у тестовій вибірці  $N_t$  та оптимальній кількості векторів  $N_l$  у навчальній вибірці, одержаній на основі дослідження (6):

$$Q_{IN_t N_t}(R)_j = \frac{q_l}{q_t}, \quad j = \overline{1, R}. \quad (7)$$

Кількість векторів  $N_l$ , при якій буде досягнуто максимальне значення  $Q_{RP}(N_l)$ , вважатимемо оптимальною та зафіксуємо.

Здійсимо також оцінку залежності точності кластеризації станів від значень ідентифікаційної здатності  $I_\omega$  ( $s$  різних значень) векторів інформаційного опису навчальної та тестової вибірок при кількості векторів інформаційного опису у тестовій вибірці  $N_t$  та фіксованих оптимальних значеннях  $N_l$  та  $I_\omega$  (6), (7):

$$Q_{RN_t N_l}(I_\omega)_j = \frac{q_l}{q_t}, \quad j = \overline{1, s}. \quad (8)$$

Одержані оптимальні значення  $N_l$ ,  $R$  та  $I_\omega$  забезпечують ефективність кластеризації станів КП та КС штучними нейронними мережами, що навчаються без учителя.

Отже, оцінка ефективності модуля-вирішувача ІСД здійснюється на основі:

- опрацювання характеристик вектора інформаційного опису та визначення величин його значимості, якості, повноти, інформативної цінності та ідентифікаційної здатності (2-4);
- оцінки точності кластеризації станів штучними нейронними мережами на основі (6-8).

**Характеристики ефективності ІСД КП та КС.** Для оцінювання ефективності інтелектуальних систем діагностування КП та КС використаємо показники діагностування, що характеризують експлуатаційну ефективність  $E_{cm}$  неінтелектуальних систем діагностування: достовірність діагностування, середня оперативна тривалість діагностування, глибина пошуку дефектів, імовірність різного роду відмов та конструктивні параметри: габарити, маса, споживані ресурси і вартісні параметри [1] та додаткові показники діагностування структурних одиниць ІСД.

У якості таких показників розглядатимемо:

- коефіцієнт якості діагностичних параметрів  $K_{я.д.}$ , який визначається на основі показників повноти моделі ОД  $P(M_{OD})$ , ступеня доступності діагностичних параметрів для контролю та вимірювання  $D(x_i)$ , де  $x_i$  – елемент вектора інформаційного опису  $x$ ,  $x \in X$ ,  $X$  - множина векторів інформаційного опису; величини інформативної цінності векторів інформаційного опису стану ОД  $V(x)$ ; ціни використання точки контролю  $C(x_i)$ , а також вартості засобів моніторингу  $C_{мон} : K_{я.д.} \rightarrow \max$ ;

- коефіцієнт ефективності модуля вирішувача  $K_{вир.}$ , що визначається на основі максимізації значень ефективності величин (2-8):  $K_{вир.} \rightarrow \max$ ;

- відносний коефіцієнт глибини пошуку несправностей  $K_{в.г.}$ , який враховує цілі системи діагностування і визначається відношенням наявного коефіцієнту глибини пошуку несправностей  $K_{н.г.}$  до цільового коефіцієнту  $K_{ц.г.}$ :

$$K_{в.з.} = \frac{K_{н.з.}}{K_{ц.з.}} \rightarrow \max ; \quad (9)$$

- коефіцієнт цінності бази знань  $K_{ц.Б.З.}$ , що визначається на основі експертних оцінок повноти опису проблемної області  $P_{пр.}$ , універсальності представлення знань  $U_{зн.}$ , вартості поповнення бази знань  $C_{бз.}$ :

$$K_{ц.Б.З.} \rightarrow \max .$$

При обрахуванні показників діагностування також необхідно врахувати особливості впливу інтелектуальних складових  $K_{скл.}$  та здійснити їх оцінку. Наприклад:

- Провести оцінку граничних значень часу, необхідного на діагностування. Вона здійснюється з врахуванням характеристик бази знань. На значення тривалості діагностування впливають: кількість правил логічного висновку, довжина ланцюга логічного висновку, характеристики штучних нейронних мереж – складність архітектур, паралелізм.

- Визначити коефіцієнт повноти діагностування, що залежить від наявності та особливостей реалізації модуля самонавчання ІСД. При наявності модуля самонавчання необхідно здійснити оцінку темпу зростання повноти діагностування протягом часу експлуатації ІСД.

- Врахувати таку особливість життєвого циклу ІСД, як можливість використання БЗ наступними поколіннями інтелектуальних систем діагностування, що знижує вартість бази знань.

**Критерій оцінки ефективності ІСД КП та КС.** Отже, задача оцінки ефективності ІСД КП та КС є багатокритеріальною задачею. Вирішення таких задач зазвичай базується на використанні одного з синтетичних показників якості: адитивного, мультиплікативного або мінімаксного.

Адитивний глобальний показник якості являє собою суму зважених нормованих часткових критеріїв ефективності та має вигляд

$$Q = \sum_{j=1}^m w_j \bar{q}_j, \quad (10)$$

де  $\sum_{j=1}^m w_j = 1; w_j > 0; j = \overline{1, m}$ ,  $m$  - кількість часткових критеріїв ефективності,  $\bar{q}_j$  - нормоване значення

$j$ -го критерію;  $w_j$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го критерію, що має тим більшу величину, чим більше він впливає на якість системи.

Вагові коефіцієнти для часткових критеріїв підбираються на основі експертних оцінок. Головним недоліком адитивного критерію є те, що при його застосуванні може відбуватися взаємна компенсація одних часткових критеріїв за рахунок інших.

Мультиплікативний глобальний критерій якості визначається шляхом перемножування часткових критеріїв з врахуванням їхніх вагових коефіцієнтів:

$$Q = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m \bar{q}_j^{w_j}}, \quad (11)$$

де  $\bar{q}_j$  і  $w_j$  мають той же зміст, що й в адитивному критерії.

Мультиплікативний критерій не допускає компенсації, і якщо значення одного з часткових критеріїв рівне нулю, то глобальний критерій також буде нульовим. Найбільш істотна відмінність мультиплікативного критерію від адитивного полягає в тому, що адитивний критерій базується на принципі справедливої абсолютної поступки за окремими показниками, а мультиплікативний – на принципі справедливої відносної поступки. Суть останнього полягає в тім, що справедливим вважається такий компроміс, коли сумарний рівень відносного зниження одного чи декількох показників не перевищує сумарного рівня відносного збільшення інших показників.

Максимінний критерій використовується у випадках, коли вид результуючої цільової функції досить важко обґрунтувати чи застосувати. Правило вибору оптимальної системи  $S_0$  у цьому випадку має вид:

$$\max_{S \in M_s} \min_{1 \leq j \leq m} \{ \bar{q}_1(S), \dots, \bar{q}_j(S), \dots, \bar{q}_m(S) \},$$

- якщо вагові коефіцієнти приватних показників відсутні;

$$\max_{S \in M_s} \min_{1 \leq j \leq m} \{ \bar{q}_1^{w_1}(S), \dots, \bar{q}_j^{w_j}(S), \dots, \bar{q}_m^{w_m}(S) \},$$

- якщо вагові коефіцієнти визначені.

Максимінний показник забезпечує найкраще (найбільше) значення найгіршого (найменшого) із часткових показників якості. Перевагою при його використанні є те, що він не допускає зміщення оптимуму

при додаванні нових несуттєвих критеріїв.

При вирішенні задачі знаходження додаткових характеристик ефективності структурних одиниць ІСД КП та КС оцінки ефективності здійсимо на основі *мультипликативного* критерію якості (11):

$$K_k = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m w_j K_{Sj}} \quad (12)$$

а врахування додаткових характеристик у загальній ефективності ІСД здійсимо у вигляді *адитивного* критерію (9) [10]:

$$K_{інт.} = \sum_k w_k K_k \quad (13)$$

Загальна оцінка ефективності ІСД КП та КС здійснюється за формулою:

$$E = (E_{ст.} + K_{інт.}) = (E_{ст.} + \sum_k w_k K_k) \quad (14)$$

$$E = E_{ст.} + w_1 K_{я.д.} + w_2 K_{вир.} + w_3 K_{в.з.} + w_4 K_{ц.б.з.} + w_5 K_{скл.},$$

де  $E_{ст.}$  – експлуатаційна ефективність неінтелектуальних систем діагностування;

$$K_{я.д.} = \sqrt[5]{w_1 P(M_{ОД}) \cdot w_2 \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_i(x_j) \right) \cdot w_3 \left( \sum_{i=1}^m V(x_i) \right) \cdot w_4 \left( \sum_{i=1}^m C(x_i) \right) \cdot w_5 C_{мон.}} \quad (15)$$

$K_{вир.}$  – визначається на основі значень величин (2-8);

$$K_{в.з.} = \frac{K_{н.з.}}{K_{ц.з.}};$$

$$K_{ц.б.з.} = \sqrt[3]{w_1 P_{пр.} \cdot w_2 U_{зн.} \cdot w_3 C_{бз.}} \quad (16)$$

$K_{скл.}$  – визначається на основі експертних оцінок;

$w$  – вагові коефіцієнти додаткових характеристик та критеріїв ІСД КП та КС.

**Висновки.** 1. У результаті дослідження було виділено структурні одиниці ІСД та описано їх функції. Це дало змогу виявити, що існують додаткові показники структурних одиниць, котрі впливають на ефективність функціонування ІСД. Це такі показники, як: коефіцієнт якості діагностичних параметрів  $K_{я.д.}$ , коефіцієнт ефективності модуля вирішувача  $K_{вир.}$ , коефіцієнт цінності бази знань  $K_{ц.б.з.}$ , відносний коефіцієнт глибини пошуку несправностей  $K_{в.з.}$  та  $K_{скл.}$ . Зростання значень цих показників призводить до зростання загальної ефективності ІСД. Невдалі реалізації структурних одиниць ІСД дають малі, а у деяких випадках і нульові значення вказаних показників, що негативно впливає на загальну ефективність ІСД, оскільки витрати на розроблення цих структурних одиниць не компенсуються.

2. Основною структурною одиницею, що суттєво впливає на ефективність функціонування ІСД є модуль-вирішувач, котрий здійснює кластеризацію станів КП та КС. Розроблені критерії оцінки повноти та інформативності вектора інформаційного опису стану ОД, способи узгодження ідентифікаційних здатностей векторів інформаційного опису, обсягів навчальної і тестової вибірок та структур ШНМ дали змогу оцінити ефективність та визначити шляхи оптимізації функціонування цього модуля.

3. Запропоновані критерії оцінки ефективності ІСД КП та КС на основі формул (12)- (16) забезпечують врахування характеристик структурних одиниць ІСД і дають змогу обчислити ефективність інтелектуального діагностування для різних класів КП та КС.

## Література

1. Локазюк В.М., Савченко Ю.Г. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК: Посібник. – К.: "Академія", 2004. – 376с
2. Локазюк В.М. Проблеми та методологія контролю і діагностування сучасних мікропроцесорних пристроїв та систем // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.– 2000. – № 2.– С. 10-17.
3. Локазюк В. М., Поморова О. В., Домінов А. О. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем: Навч. посібник для вузів. – Хмельницький – Київ: "Такі справи", 2001. – 286 с.
4. Cunningham P. A case study on the use of model-based systems for electronic fault diagnosis // Artificial Intelligent Engineer. – 1998. – vol. 12. – pp. 283-295.
5. Isermann R. On fuzzy logic applications for automatic control, supervision, and fault diagnosis // IEEE Syst., Man, Cybern. – 1998. – vol. 28. – pp. 221-235.
6. Liu Z. – Q., Yan F. Case-based diagnostic system using fuzzy neural network // Proc. IEEE Conf. Neural Networks. – 1995. – vol. 6. – pp. 3107-3112.



7. Pomorova O. V. Neural nets method of computer system diagnosis // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2006. – № 5 (17), с. 155-160.
8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е издание. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
9. Хинтон Д. Обучение в параллельных сетях // *Реальность и прогнозы искусственного интеллекта*. – М.: Мир, 1987. – С. 124-136.
10. Царегородцев В.Г. Оптимизация экспертов boosting-коллектива по их кривым обучения // *Материалы XIII Всеросс. семинара «Нейроинформатика и её приложения»*, Красноярск. – 2004. – С.152-157.
11. Локазюк В.М., Поморова О.В., Оцінка ефективності інтелектуальних систем діагностування комп'ютерних засобів // *Труды седьмой международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии"*, 22-26 мая 2006 г. – Одесса. – Том 1., с. 156.

Надійшла 2.10.2006 р.

УДК 004.891.3: 004.3

В.М. ЛОКАЗЮК, О.В. ПОМОРОВА, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО  
Хмельницький національний університет

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПОВТОРНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*В даній статті розглянуто штучну нейронну мережу (ШНМ) для системи повторного тестування, описано структуру моделі ШНМ в пакеті Matlab 6.1, показано структурну схему імітаційної моделі ШНМ в пакеті Matlab, описано архітектуру моделі ШНМ та процес навчання даної ШНМ.*

### Вступ

Для вирішення проблеми підвищення ефективності тестування програмного забезпечення на основі розробленого методу повторного тестування програмного забезпечення розроблено систему повторного тестування програмного забезпечення [1, 2], структурна схема якої представлена на рис. 1

На **блок підключення даних** подається файл користувача з результатами основного тестування, представленими у вигляді журналу “Метод тестування – Операція тестування – Тип виявленої помилки”. Складання звітів про процес та результати основного тестування робиться не завжди, але фірми і колективи, що серйозно працюють над підвищенням якості тестування ПЗ, це здійснюють. Дані цього файлу передаються на кодувальник. **Кодувальник** здійснює перетворення вхідних даних з лінгвістичної форми в кількісну форму, заповнення бази знань вхідними даними та формування вхідних векторів вирішувача. Кодувальник також перевіряє дані файлу на достовірність та повноту представлення при формуванні вхідних векторів. Якщо дані недостовірні або неповні, то кодувальник передає на динамічний довідник своє повідомлення з пропозицією сформувати ще один файл з додатковими результатами, які перетворюються в кількісну форму

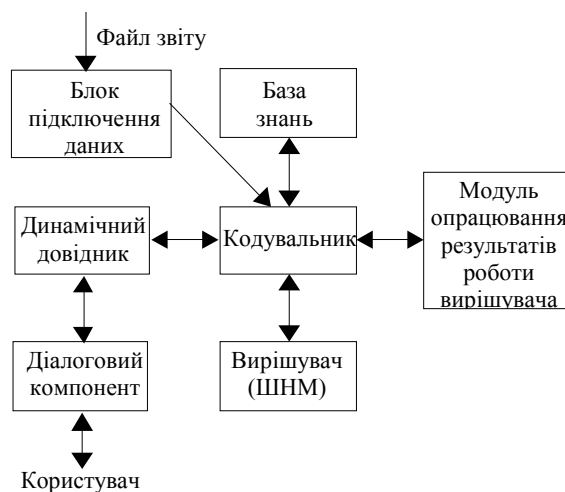


Рис. 1. Структурна схема системи повторного тестування програмного забезпечення

аналогічно даним основного файлу, після чого заносяться в базу знань. **База знань** містить таблиці з вхідними даними системи, допоміжні таблиці, таблиці з правилами для формування висновку про необхідність та метод (и) повторного тестування. Розв'язок поставлених задач виявлення прихованих помилок ґрунтується на категорійній моделі процесу повторного тестування [3], в якій враховано важливість кожного типу помилок, взаємний вплив типів помилок. В якості **вирішувача** використовується штучна нейронна мережа (ШНМ). На входи ШНМ подається інформація про методи і операції основного тестування та типи виявлених під час основного тестування помилок, а на виході одержується рівень категорійності прихованих помилок. Вихідні дані вирішувача подаються на кодувальник, який здійснює заповнення бази знань результуючими даними, перетворення результуючих векторів вирішувача з кількісної в лінгвістичну форму та передачу їх у модуль опрацювання результатів роботи вирішувача. **Модуль опрацювання результатів роботи вирішувача** на основі таблиці правил та таблиці “Результати роботи вирішувача” генерує висновок про необхідність та метод повторного тестування, який передається через **діалоговий компонент** користувачу. **Динамічний довідник** надає користувачу під час роботи системи довідки про формат вхідного файлу, про відомі системні методи і

операції основного тестування ПЗ, типи виявлених під час основного тестування помилок ПЗ, а також передає користувачу всі повідомлення будь-якого з компонентів системи. Результатом роботи системи є висновок про необхідність повторного тестування та рекомендовані для повторного тестування метод (и) тестування ПЗ.

Для імітаційного моделювання в пакеті Matlab з штучної нейронної мережі, описаної в [3, 4, 5] (структура багатозарового перцептрона типу MLP поєднується зі структурою простого перцептрона Розенблатта), видаляються вихідні функціонали ефекторного шару  $Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_m$ , активними залишаються лише виходи  $Y_1, Y_2, \dots, Y_h, \dots, Y_m$ , тобто моделюється наступна ШНМ:

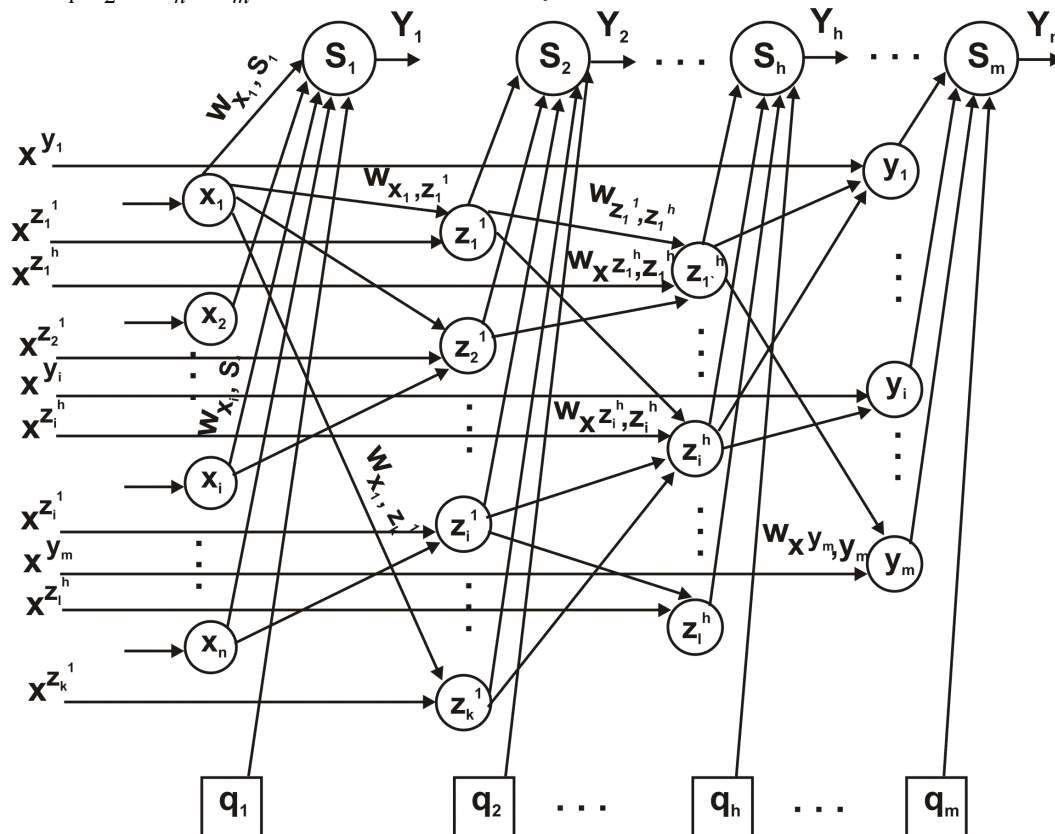


Рис. 2. Штучна нейронна мережа для системи повтрного тестування

### Структура моделі ШНМ в пакеті Matlab 6.1

Структурна схема ШНМ в пакеті Matlab представлена на рис.3.

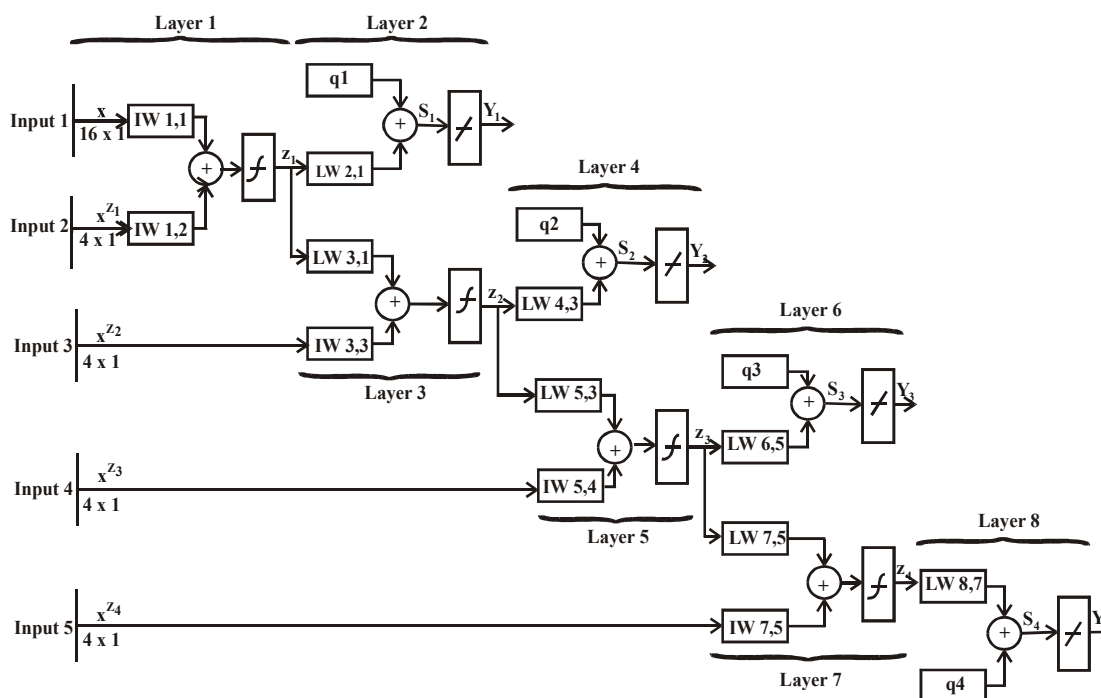


Рис. 3. Структурна схема ШНМ в пакеті Matlab

За статистикою [6] тестувальник тестує програму не більш як чотирма методами, тому на кожен з входів  $q_1 - q_4$  достатньо подати по одному номеру методу тестування, які утворюються внаслідок об'єднання двох методів тестування під одним номером, що відображено в таблиці присвоєння номерів методам основного тестування (таблиця 1). Деякі методи об'єднані по два під одним номером, оскільки ними найчастіше виявляються помилки одного рівня категорійності. Дана відповідність наведена в таблиці відповідності між номером методів тестування ПЗ та рівнем категорійності прихованих помилок ПЗ (таблиця 2).

Таблиця 1

Присвоєння номерів методам основного тестування

Номер	Метод тестування ПЗ
1	Функційне тестування Тестування правильності
2	Тестування елементів
3	Тестування незалежних шляхів (гілок) Низхідне тестування
4	Висхідне тестування Тестування спрягань між елементами

Таблиця 2

Відповідність між номером методів тестування ПЗ та рівнем категорійності прихованих помилок ПЗ

№ методу тестування	Рівень категорійності помилок
3	1
4	2
2	3
1	4

Тестувальник тестує програму не більш як чотирма операціями одного методу тестування [6], тому на кожен з входів Input2 – Input5 можна подати не більше чотирьох номерів операцій тестування. На входи Input2 ( $x^{Z_1}$ ), Input3 ( $x^{Z_2}$ ), Input4 ( $x^{Z_3}$ ), Input5 ( $x^{Z_4}$ ) подаються номери операцій основного тестування ПЗ. Причому на вхід Input2 подаються номери операцій, при виконанні яких найчастіше виявляються помилки першого рівня категорійності (незначні); на вхід Input3 – номери операцій, виконання яких призводить до виявлення помилок другого рівня категорійності (помірні); на вхід Input4 – номери операцій, виконання яких дозволяє виявити помилки третього рівня категорійності (серйозні); на вхід Input5 – номери операцій, які дозволяють виявити помилки четвертого рівня категорійності (катастрофічні).

На вхід Input1 ( $x$ ) подаються номери типів виявлених під час основного тестування помилок. Оскільки за статистикою [6] в програмі буває максимум 14-15 помилок, то на даний вхід подається не більше 16 типів помилок.

Значення входів ШНМ лежать в діапазонах, вказаних у таблиці 3. Нумерація операцій тестування ПЗ наведена в таблиці присвоєння номерів операціям основного тестування (таблиця 4).

Таблиця 3

Діапазони входів ШНМ

Вхід	Діапазон
(1)	(2)
$q_1$	3
$q_2$	4
(1)	(2)
$q_3$	2
$q_4$	1
Input1 ( $x$ )	0..22
Input2 ( $x^{Z_1}$ )	0, 20..32, 50, 51
Input3 ( $x^{Z_2}$ )	0, 41..46, 52, 53
Input4 ( $x^{Z_3}$ )	0, 10..19, 33..40
Input5 ( $x^{Z_4}$ )	0, 1..9, 47..49

Присвоєння номерів операціям основного тестування	
Номер	Операція тестування ПЗ
1	Перевірка, чи виконує програмна система (ПС) очікувані функції
2	Перевірка, чи виконує ПС поставлені вимоги
3	Перевірка, чи виконують модулі ПС очікувані функції
...	...

Кожен з виходів  $Y_i$  відповідає за один з чотирьох рівнів категорійності ( $Y_1$  – перший рівень категорійності,  $Y_2$  – другий рівень категорійності,  $Y_3$  – третій рівень категорійності,  $Y_4$  – четвертий рівень категорійності) і приймає значення „1”, якщо штучною нейронною мережею спрогнозовано наявність в програмі помилок  $i$ -го рівня категорійності, в протилежному випадку значення виходу  $Y_i$  становить „0”.

#### Опис архітектури ШНМ в Matlab

Визначимо кількість входів, внутрішніх шарів та елементів кожного вхідного вектора ШНМ:

```
net.numInputs=5;
net.numLayers=8;
net.inputs{1}.size=16;
net.inputs{2}.size=4;
.....
net.inputs{5}.size=4.
```

При завданні зміщення вважаємо, що програмне забезпечення повинно було пройти основне тестування різними операціями кожного з методів. Задамо зміщення шарів Layer2, Layer4, Layer6, Layer8:

```
net.biasConnect= [0,1,0,1,0,1,0,1].
```

Матриця зв'язків ваг вхідних векторів має розмірність  $8 \times 5$ , оскільки кількість внутрішніх шарів – 8, а кількість вхідних векторів – 5. Якщо  $i$ -й шар зв'язаний з  $j$ -м вхідним вектором, то елемент  $[i, j]$  матриці зв'язків ваг вхідних векторів дорівнює 1 ( $net.inputConnect(i, j)=1$ ), інакше цей елемент дорівнює 0. В нашому випадку одиниці дорівнюють  $[1,1]$ ,  $[1,2]$ ,  $[3,3]$ ,  $[5,4]$ ,  $[7,5]$  елементи матриці зв'язків ваг вхідних векторів:

```
net.inputConnect(1,1)=1;
net.inputConnect(1,2)=1;
net.inputConnect(3,3)=1;
net.inputConnect(5,4)=1;
net.inputConnect(7,5)=1.
```

Матриця зв'язків ваг внутрішніх шарів ШНМ має розмірність  $8 \times 8$ , оскільки кількість внутрішніх шарів складає 8. Якщо існує зв'язок від  $j$ -го шару до  $i$ -го шару, то елемент  $[i, j]$  матриці зв'язків ваг внутрішніх шарів дорівнює 1 ( $net.layerConnect(i, j)=1$ ); якщо ж такий зв'язок відсутній, то цей елемент дорівнює 0. В нашому випадку одиниці дорівнюють  $[2,1]$ ,  $[3,1]$ ,  $[4,3]$ ,  $[5,3]$ ,  $[6,5]$ ,  $[7,5]$ ,  $[8,7]$  елементи матриці зв'язків ваг внутрішніх шарів:

```
net.layerConnect= [0 0 0 0 0 0 0 0; 1 0 0 0 0 0 0 0; 1 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 1 0 0 0 0 0; 0 0 1 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 1 0 0 0; 0 0 0 0 1 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 1 0].
```

Матриця виходів та матриця цілей ШНМ мають однакову розмірність  $1 \times 8$  елементів:

```
net.outputConnect= [0 1 0 1 0 1 0 1];
net.targetConnect= [0 1 0 1 0 1 0 1].
```

Також необхідно вказати діапазони значень вхідних векторів:

```
net.inputs{1}.range = [0 2; 0 4; 0 6; 0 7; 0 8; 0 9; 0 10; 0 11; 0 12; 0 13; 0 14; 0 15; 0 16; 0 17 0 18; 0 20; 0 22]; (фактично при навчанні та роботі на ці входи будуть подаватись значення: 0, 1, 2; 0, 3, 4; 0, 5, 6; 0, 7; 0, 8; 0, 9; 0, 10; 0, 11; 0, 12; 0, 13; 0, 14; 0, 15; 0, 16; 0, 17, 18; 0, 19, 20; 0, 21, 22);
```

```
net.inputs{2}.range= [0 26; 0 32; 0 50; 0 51]; (фактично при навчанні та роботі на ці входи будуть подаватись значення: 0, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26; 0, 27, 28, 29, 30, 31, 32; 0, 50; 0, 51);
```

```
net.Inputs{3}.range= [0 43; 0 46; 0 52; 0 53]; (фактично при навчанні та роботі на ці входи будуть подаватись значення: 0, 41, 42, 43; 0, 44, 45, 46; 0, 52; 0, 53);
```

```
net.Inputs{4}.range= [0 14; 0 19; 0 36; 0 40]; (фактично при навчанні та роботі на ці входи будуть подаватись значення: 0, 10, 11, 12, 13, 14; 0, 15, 16, 17, 18, 19; 0, 33, 34, 35, 36; 0, 37, 38, 39, 40);
```

```
net.Inputs{5}.range= [0 9; 0 47; 0 48; 0 49]; (фактично при навчанні та роботі на ці входи будуть подаватись значення: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; 0, 47; 0, 48; 0, 49).
```

Для внутрішніх шарів нейромережі вкажемо такі параметри, як розмірність шару, активізаційна функція та метод ініціалізації. Для першого шару:

```
net.layers{1}.size=20;
net.layers{1}.transferFcn= 'tansig';
net.layers{1}.initFcn= 'initnw';
```

розмірність 1-го шару – 20, активізаційна функція – гіперболічний тангенс [7] (*tansig*), метод ініціалізації – метод Нгуена-Відроу [8, 9, 10] (*initnw*).

Для другого шару:

```
net.layers{2}.size=5;
net.layers{2}.transferFcn='purelin';
net.layers{2}.initFcn='initnw';
```

розмірність 2-го шару – 5, активізаційна функція – порогова лінійна функція [10] (*purelin*), метод ініціалізації – метод Нгуена-Відроу.

Для третього шару:

```
net.layers{3}.size=8;
net.layers{3}.transferFcn='tansig';
net.layers{3}.initFcn='initnw';
```

розмірність 3-го шару – 8, активізаційна функція – гіперболічний тангенс, метод ініціалізації – метод Нгуена-Відроу.

Аналогічно описані всі інші внутрішні шари відповідно до рис.3.

Здійснюємо ініціалізацію (*net=init(net)*) та навчання ШНМ.

Задамо послідовність навчальних векторів у вигляді, наприклад:

$$P = \{ [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 18; 0; 0; 0] [0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 19; 0; 0; 0] [ \dots ] ;$$

Навчальні вектори для входу Input1

$$[0; 0; 0; 0] [0; 0; 0; 0] [ \dots ] ;$$

Навчальні вектори для входу Input2

$$[0; 0; 0; 0] [0; 0; 0; 0] [ \dots ] ;$$

Навчальні вектори для входу Input3

$$[0; 0; 0; 0] [0; 0; 0; 0] [ \dots ] ;$$

Навчальні вектори для входу Input4

$$[7; 0; 0; 0] [6; 0; 0; 0] [ \dots ] ;$$

Навчальні вектори для входу Input5

Цільовий вектор визначимо як:  $T = \{ [0, 0, 0, 0, 0] [0, 0, 0, 0, 0] [0, 0, 0, 0, 0] [1, 1, 1, 1, 1] \}$ .

Для визначення функцій, що забезпечать виконання базових нейромережових операцій, оберемо [10]: алгоритм навчання та метод контролю якості навчання. Для цього ШНМ досліджувалась при навчанні вибіркою з 497 векторів різними алгоритмами з використанням різних методів контролю якості навчання. На основі результатів досліджень сформовано таблицю 5.

Таблиця 5

## Дослідження методів навчання ШНМ

Алгоритм навчання	Функція оцінки якості навчання	Точність навчання	Час навчання	Кількість епох, за які ШНМ досягає таку точність
1	2	3	4	5
Алгоритм навчання Бройтона, Флетчера, Гольдфарба і Шано (BFGS)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	1 хвилина 25 секунд	2 епохи
Алгоритм навчання Бройтона, Флетчера, Гольдфарба і Шано (BFGS)	Комбінований критерій якості (msereg)	0.145232	1 хвилина 25 секунд	2 епохи

1	2	3	4	5
Алгоритм навчання СGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	1 хвилина 13 секунд	1 епоха
Алгоритм навчання СGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	1 хвилина 13 секунд	1 епоха
Алгоритм Флетчера-Рівса (CGF)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	1 хвилина 13 секунд	1 епоха
Алгоритм Флетчера-Рівса (CGF)	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	1 хвилина 13 секунд	1 епоха
Алгоритм Полака-Рібейри (CGP)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	1 хвилина 13 секунд	1 епоха
Алгоритм Полака-Рібейри (CGP)	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	1 хвилина 13 секунд	1 епоха
Алгоритм градієнтного спуску (GD)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	17 хвилин 30 секунд	5925 епох
Алгоритм градієнтного спуску з вибором параметра швидкості налагодження (GDA)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	1 хвилина 34 секунди	128 епох
Алгоритм градієнтного спуску з вибором параметра швидкості налагодження (GDA)	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	1 хвилина 35 секунд	130 епох
Алгоритм градієнтного спуску зі збуренням (GDM)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	17 хвилин 30 секунд	5850 епох
Алгоритм градієнтного спуску зі збуренням (GDM)	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	20 хвилин	6850 епох
Алгоритм градієнтного спуску зі збуренням і адаптацією параметра швидкості налагодження (GDX)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	1 хвилина 50 секунд	202 епохи
Алгоритм градієнтного спуску зі збуренням і адаптацією параметра швидкості налагодження (GDX)	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	1 хвилина 57 секунд	238 епох
Алгоритм Левенберга-Марквардта (LM)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	45 хвилин	3 епохи
Алгоритм Левенберга-Марквардта (LM)	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	45 хвилин	2 епохи
Однокроковий алгоритм методу січної (OSS)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	1 хвилина 19 секунд	2 епохи
Однокроковий алгоритм методу січної (OSS)	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	1 хвилина 17 секунд	2 епохи
Пороговий алгоритм оберненого поширення (Rprop)	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.161178	1 хвилина 16 секунд	29 епох
Пороговий алгоритм оберненого поширення (Rprop)	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.145232	1 хвилина 16 секунд	32 епохи
Алгоритм навчання SCG	Комбінований критерій якості (mse <sub>reg</sub> )	0.161178	1 хвилина 16 секунд	1 епоха
Алгоритм навчання SCG	Середньоквадратичне відхилення (mse)	0.145232	1 хвилина 16 секунд	1 епоха

В результаті аналізу таблиці 5 було визначено, що за часовим показником найкраще використовувати алгоритм навчання СGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле, алгоритм Флетчера-Рівса (CGF), алгоритм Полака-Рібейри (CGP), однокроковий алгоритм методу січної (OSS), пороговий алгоритм оберненого поширення (Rprop), алгоритм навчання SCG з використанням комбінованого критерію якості. За показником “кількість епох” найкращими є: алгоритм навчання СGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле, алгоритм Флетчера-Рівса (CGF), алгоритм Полака-Рібейри (CGP), алгоритм навчання SCG, алгоритм навчання Бройтона, Флетчера, Гольдфарба і Шано (BFGS), однокроковий алгоритм методу січної (OSS), алгоритм Левенберга-Марквардта (LM) з використанням комбінованого критерію якості. Ми оберемо

для подальшої роботи один з них – алгоритм навчання CGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле (рис. 4). На рисунку верхня крива відображає швидкість та точність навчання ШНМ за заданим алгоритмом. Пряма внизу відображає цільову функцію точності. Оберемо для подальшої роботи також однокроковий алгоритм методу січної (OSS) (рис.5), алгоритм навчання SCG (рис.6), пороговий алгоритм оберненого поширення (Rprop) (рис.7) з використанням комбінованого критерію якості.

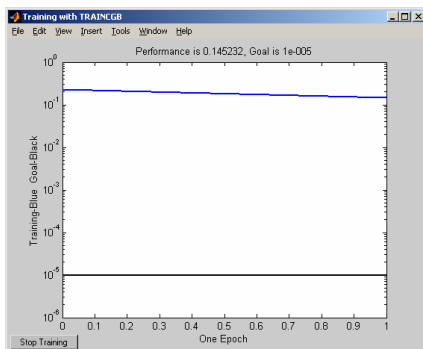


Рис. 4. Алгоритм навчання CGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле

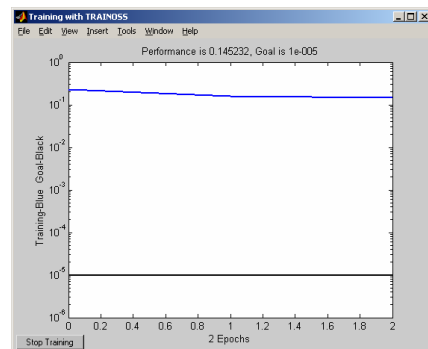


Рис. 5. Однокроковий алгоритм методу січної (OSS)

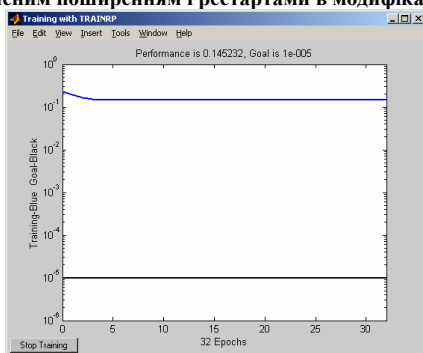


Рис. 6. Алгоритм навчання SCG

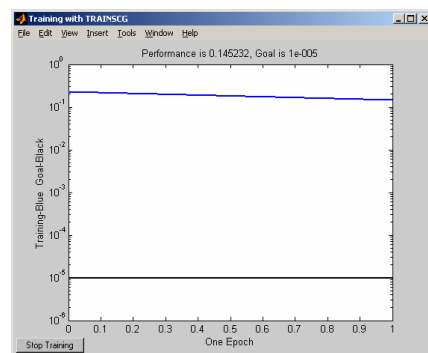


Рис. 7. Пороговий алгоритм оберненого поширення

### Висновки

В даній статті була розроблена імітаційна модель ШНМ в пакеті Matlab6.1, описана її структура та архітектура. Було проведено ряд експериментів по навчанню ШНМ різними алгоритмами з використанням різних функцій оцінки якості навчання, після аналізу результатів якого було визначено алгоритми навчання ШНМ та критерій оцінки якості навчання.

В результаті дослідження було визначено, що найбільш прийнятними з проаналізованих алгоритмів для навчання ШНМ є: алгоритм навчання CGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле, однокроковий алгоритм методу січної (OSS), алгоритм навчання SCG, пороговий алгоритм оберненого поширення (Rprop). Точність навчання змодельованої ШНМ не залежить від часу навчання та кількості ітерацій (епох). Вона залежить від критерію оцінки якості навчання. Максимальна точність, яка була досягнута в процесі навчання вибіркою з 497 навчальних векторів, дорівнює 0.145232.

### Література

1. Говорущенко Т.О. Система повторного тестування програмного забезпечення // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: НАУ "ХАІ", 2005. – № 4, с.120 – 126
2. Govoruschenko T.O. Determination of Necessity and Advisable Method (s) of Repeated Application Software Testing – Харків: НАУ "ХАІ", 2006. – № 6, с.136-141.
3. Локазюк В.М., Пантелеєва (Говорущенко) Т.О. Категорійна модель процесу повторного тестування дефектів програмного забезпечення // Вісник Технологічного університету Поділля – Хмельницький: ТУП, 2004. – ч.1, т.1, с. 53 – 58
4. Lokazyuk V.M., Govoruschenko T.O. Category Model of Process of Repeated Software Testing // Proceedings of the Third IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – Sofia, Bulgaria: 2005. – p.241-245
5. Говорущенко Т.О. Оцінка ефективності виявлення прихованих помилок у програмному забезпеченні // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький, 2005. – Ч.1. – Т.2. – С. 190– 195
6. Калбертсон Р., Браун К., Кобб Г. Быстрое тестирование: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. – 384 с.
7. Локазюк В.М., Поморова О.В., Домінов А.О. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем: Навчальний посібник для ВУЗів. – Хмельницький, 2001. – 286 с.

8. Nguyen, D., and B. Widrow. Improving the learning speed of 2-layer neural networks by choosing initial values of the adaptive weights // Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 1990. – Vol. 3, 21-26 pp.

9. Скобцов Ю.А., Ткаченко А.В. Программная реализация нейронных сетей для обучения в системах реального времени // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Сер. обчислювальна техніка та автоматизація: Вип. 66. – Донецьк: ДонНТУ, 2005.

10. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети Matlab6 / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 496 с.

Надійшла 17.10.2006 р.

УДК 004.3: 004.891.3

Ю.П. КЛЬОЦ

Хмельницький національний університет

## ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ БЕЗСЛОВНИКОВОГО ПОШУКУ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

*В статті представлено алгоритми безсловникового пошуку несправностей цифрових пристроїв та систем. Розглянута структура розробленого програмного забезпечення та наведено опис програмних засобів для реалізації безсловникового методу діагностування.*

### Вступ

Використання складних систем діагностування цифрових та мікропроцесорних пристроїв та систем вимагає розробки різноманітного програмного забезпечення як безпосередньо для керування процесом тестування, так і для оброблення отриманих результатів. Розроблення та реалізація нових методів діагностування також вимагають їх нової програмної реалізації.

### Постановка задачі

Відоме програмне забезпечення, що використовується для забезпечення роботи системи комбінованого діагностування (СКД) «ТЕКОД-2М» [1,2] та модифікованої системи [3], не орієнтоване на оброблення результатів тестування з використанням безсловникового методу пошуку несправностей цифрових пристроїв [4]. Для реалізації в повному обсязі запропонованого в [4] безсловникового методу необхідно розробити його програмну реалізацію.

### Програмна реалізація методу

Розроблене програмне забезпечення реалізує алгоритми безсловникового пошуку несправностей на основі даних, отриманих в результаті тестування цифрових пристроїв та систем. Алгоритм визначення підозрюваних на несправність компонентів та алгоритм ідентифікації несправності представлені на рис. 1, 2.

Даний програмний продукт розроблений на мові програмування С. Використання саме цієї мови програмування викликано необхідністю проведення швидких обчислень та інтенсивної роботи з файлами і дозволяє використовувати можливість динамічного створення елементів та динамічне управління пам'яттю. Модель пристрою у формі структурної схеми зберігається в файлі із змішаною структурою, що міститься в файлі конфігурації. Використання змішаної структури дозволяє не накладати жорсткі обмеження на тип і виконувані функції компонентів, при цьому не відбувається значного ускладнення структури файлу. Після запуску програми, схема завантажувється програмою. На основі схеми створюються зв'язані моделі компонентів. Файл конфігурації містить:

- кількість компонентів у схемі;
- кількість входів компонента;
- кількість виходів компонента;
- формули розрахунку вихідних значень;
- поточний стан входів;
- поточний стан виходів;
- унікальний номер компонента;
- індекси зв'язку з іншими компонентами.

Структуру файлу можна легко розширювати. Структура компонента в пам'яті програми гнучка та піддається розширенню. Модель компонента, що зберігається в файлі, представлена на рис. 3. При описі компонентів пристроїв таким способом необхідно задати в булевих функціях формули, за якими проводиться обрахунок вихідних функцій компонента. При неможливості задати ці функції необхідно розділити компонент на фрагменти, для яких такі функції можна встановити.



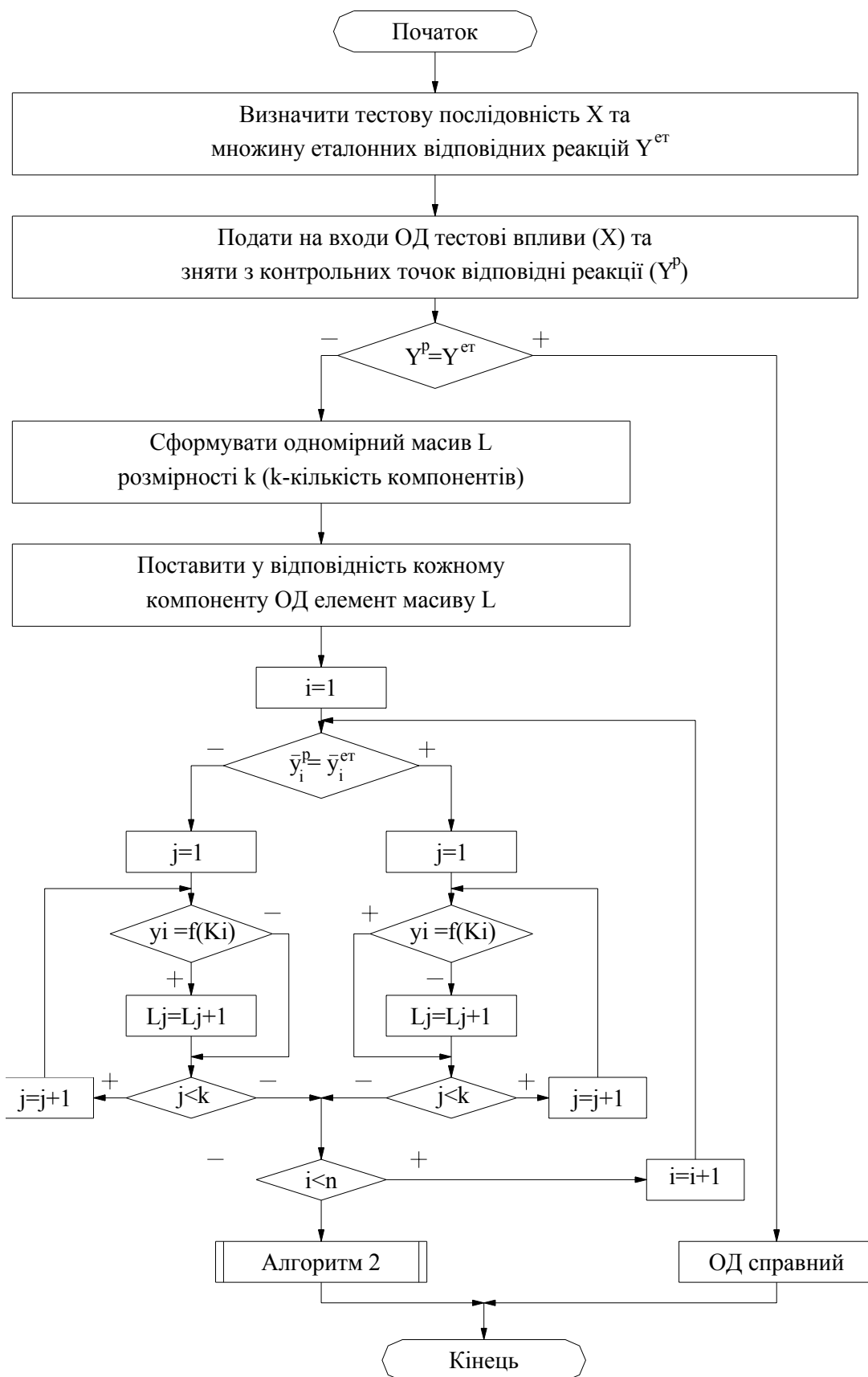


Рис. 1. Алгоритм визначення підозрюваних на несправність компонентів

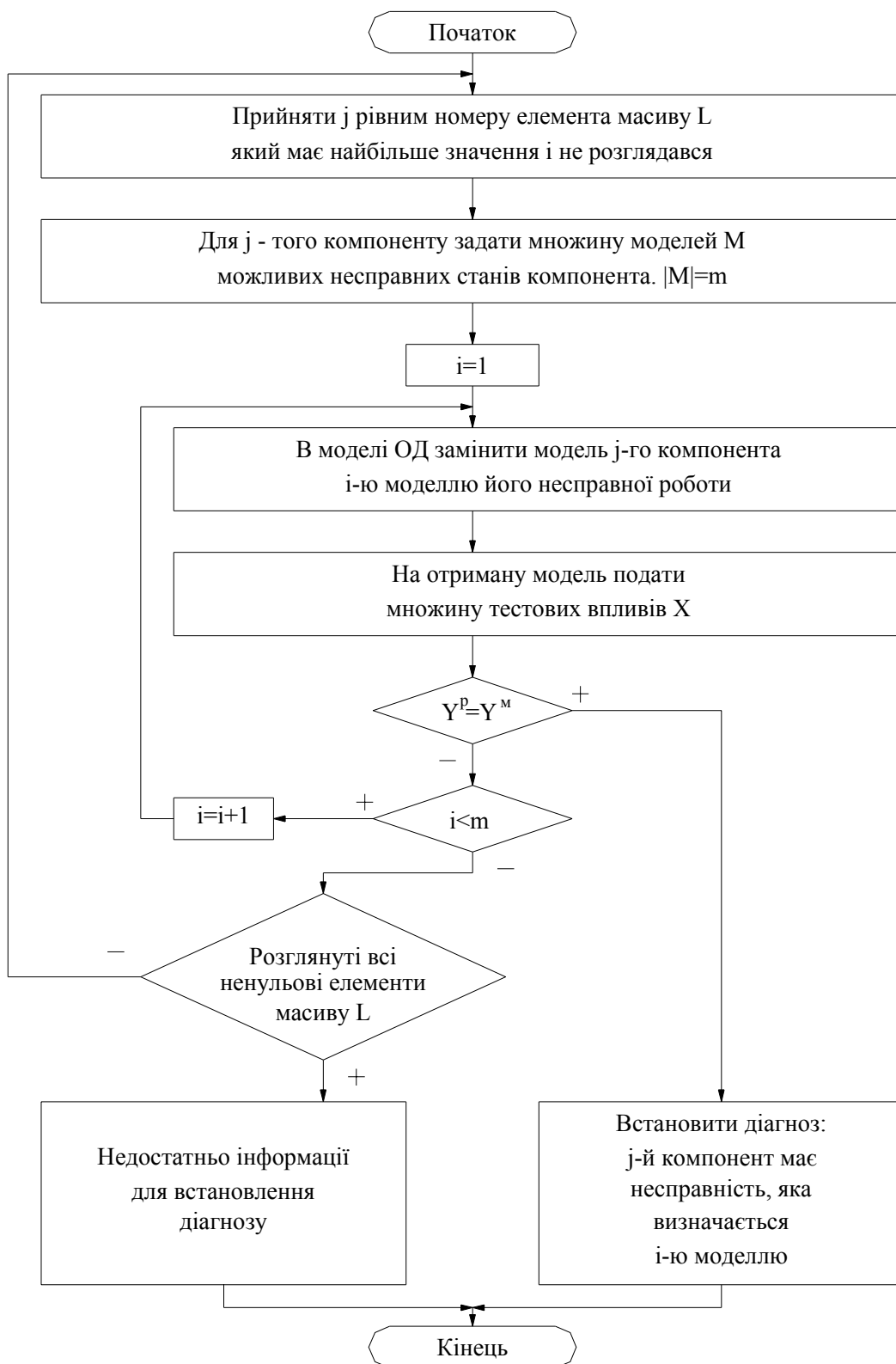


Рис. 2. Алгоритм визначення підозрюваних на несправність компонентів

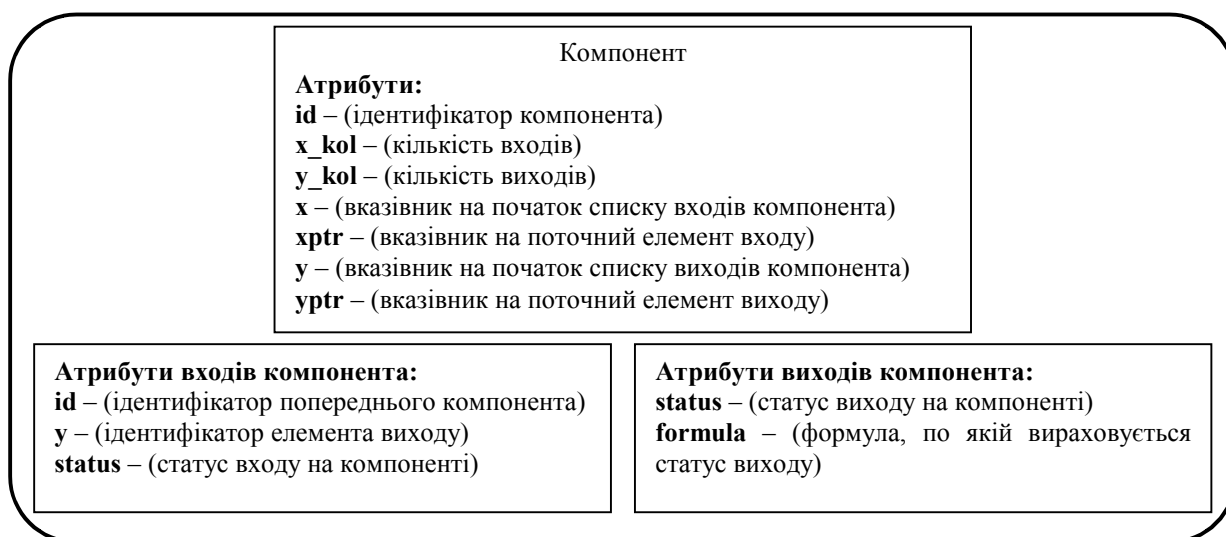


Рис. 3. Структурне представлення компонента схеми

Програма використовує також тестові впливи та відповідні реакції, отримані в результаті тестування. Для синтезу тестових впливів використовується наявне в СКД програмно-апаратне забезпечення або генератори випадкових тестових впливів. Структури файлів з тестовими впливами та відповідними реакціями ідентичні і складаються з шістнадцяткових чисел, що кодують тестовий вплив або відповідну реакцію. Кожен новий тестовий вплив, як і відповідна реакція, у файлі розміщується з нового рядку.

Структурна схема програмного забезпечення представлена на рис. 4.

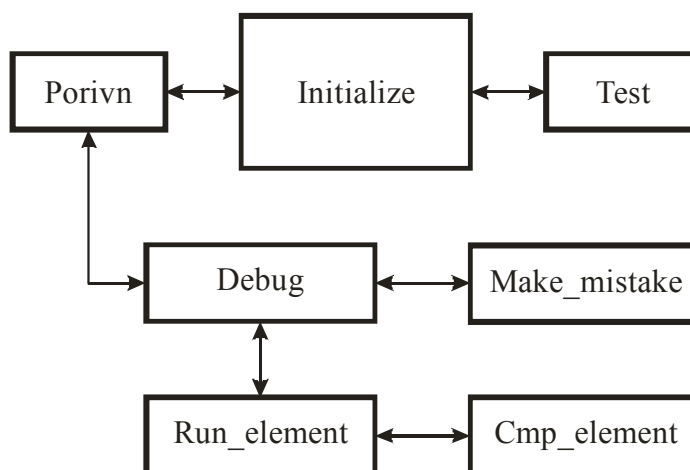


Рис. 4. Структурна схема програмного забезпечення

Оразу після запуску програми викликається процедура ініціалізації схеми Initialize (). Вона завантажує файл структурної схеми та на її основі створює зв'язану модель пристрою чи системи у пам'яті комп'ютера. Основні функції процедури: відкриває файл конфігурації схеми, проводить розпізнання даних у файлі, виділяє пам'ять під об'єкти, заповнює поля об'єктів початковими значеннями, а також формує масив лічильників, співставлених з компонентами пристрою. Початковий стан лічильників обнулений. Наступною виконується процедура Etalon () визначення еталонних реакцій для набору тестових впливів. Ця процедура зчитує набори вхідних тестових впливів та подає їх на сформовану в пам'яті еталонну (тобто, справного об'єкта діагностування) модель пристрою. Отримані еталонні відповідні реакції записуються в файл. Далі за допомогою процедури Porivn () проводиться порівняння відповідних та еталонних реакцій. Для тестових впливів, на яких виявлено розходження між еталонними та відповідними реакціями, викликається процедура Debug (). Ця процедура забезпечує перевірку залежності виходів пристрою від виходів компонента при певному тестовому наборі. В ході її виконання для кожного з компонентів пристрою викликаються процедури make\_mistake () та run\_element (). Перша процедура проводить інвертування вихідної функції компонента, а друга визначає значення виходів модифікованого таким чином пристрою і перевіряє чи на даному тестовому наборі вихідна функція пристрою не стає рівною фактичній відповідній реакції. В разі виявлення такої залежності процедура cmp\_elem () збільшує значення того лічильника (Li), вихід якого інвертувався. Процедура Test () по завершенні перегляду усіх тестових впливів визначає один або групу компонентів, що мають найвищий рівень підозри на несправність (більше 50 %) і формує вихідний файл. В цьому файлі в текстовому вигляді записуються індекси компонентів та рівень підозри компонентів. Рівень підозри i-того компонента

визначається за формулою  $L_i/N$ , де  $L_i$  – значення  $i$ -того лічильника,  $N$  – кількість викликів процедури Debug () – кількість відповідних реакцій, на яких проявилась несправність. Рядки в файлі сортуються за зменшенням рівня підозри таким чином, що компоненти, які мають найвищий рівень підозри, записані в файлі найпершими.

Віконні форми роботи програми представлені на рис. 5. та рис. 6.

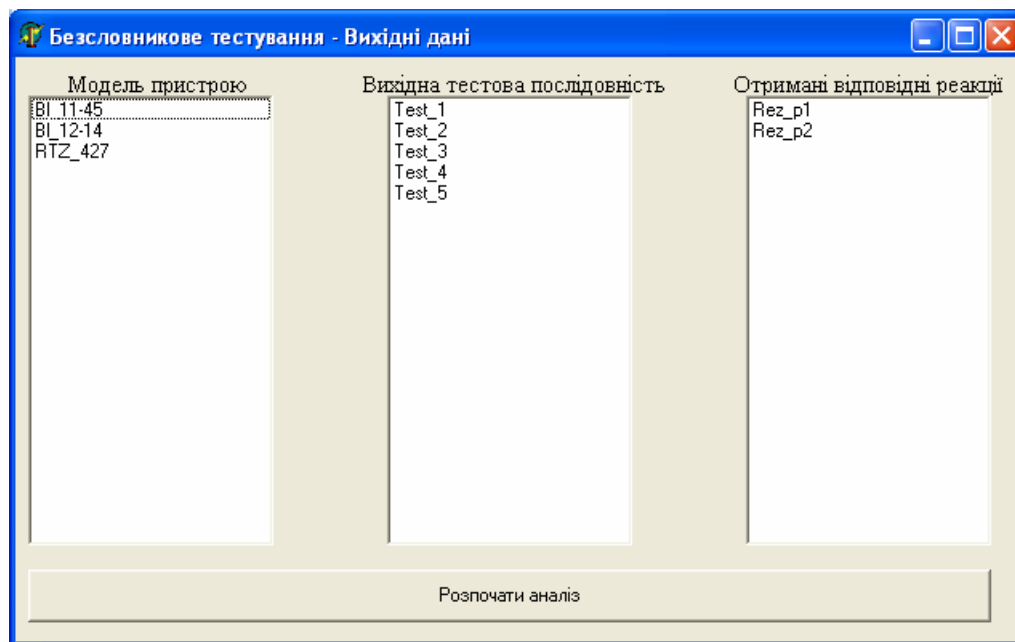


Рис. 5. Віконна форма вибору пристрою, тестової послідовності та отриманої вихідної реакції

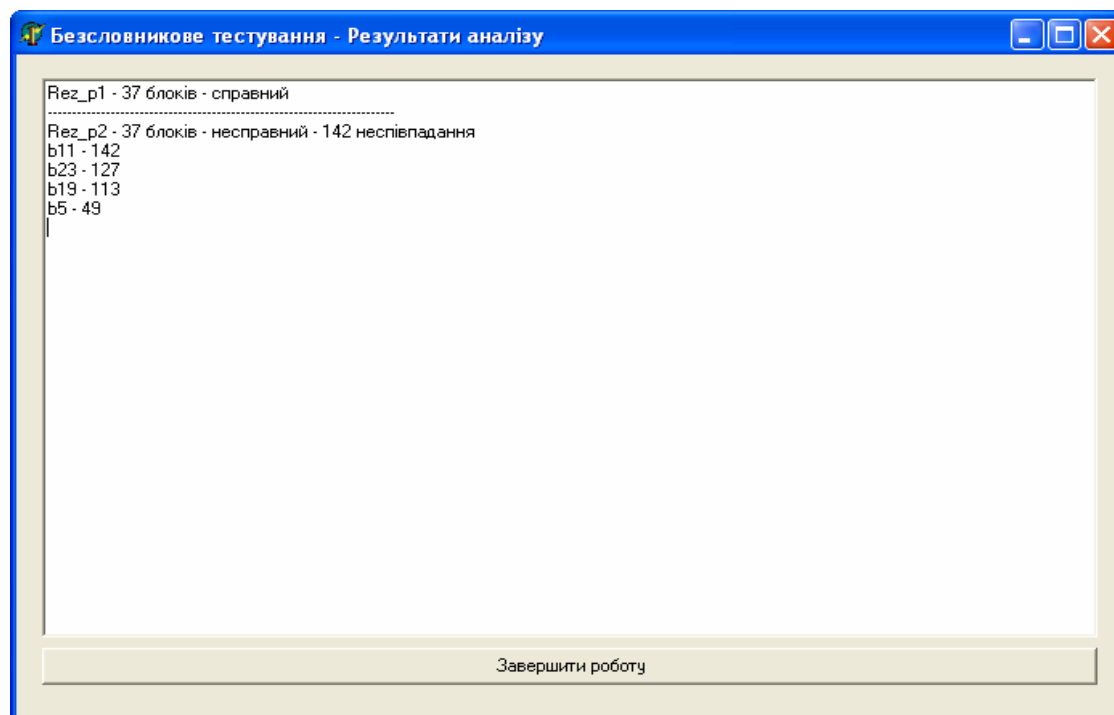


Рис. 6. Віконна форма виведення результатів роботи

### Висновок

Запропонована програмна реалізація методу безсловникового пошуку несправностей дозволяє, використавши наявне апаратне забезпечення, ідентифікувати несправності цифрових пристроїв та систем. Використаний опис компонентів пристроїв та систем може використовуватись для опису схеми як на рівні вентилів, так і на менш деталізованих рівнях.

### Література

1. Декл. пат. 28350 А УКРАЇНА, МКВ G 01 R 31/318. Автоматизована система тестового контролю і діагностування цифрових мікропроцесорних блоків / В.М. Локазюк, Ю.В. Хмельницький, О.В. Огневий,

В.М. Чешун, С.В. Глушак; Технологічний університет Поділля. – № 96083190; Заявл. 08.08.1996; Опубл. 16.10.2000, Бюл.№ 5-П.

2. Автоматизированная система тестового контроля и диагностирования цифровых микропроцессорных блоков: А. с. 1705782 СССР, МКИ G01R31/28 / В.Н. Локажук (СССР). – № 4726836/21; Заявлено 15.06.89; Опубл. 30.02.92, Бюл. № 2. – 2 с.

3. Кльоц Ю. П. Система комбінованого діагностування з використанням безсловникового методу пошуку несправностей цифрових пристроїв // Вісник технологічного університету Поділля. – 2004. – № 6. – Т.3 -С.57.

4. Савченко Ю.Г., Кльоц Ю.П., Савенко О.С., Чешун В.М. Методика та алгоритми діагностування цифрових пристроїв з використанням безсловникових процедур // Вісник технологічного університету Поділля. – 2001. – № 1. – С. 57.

Надійшла 18.10.2006 р.

УДК 004.78

В.Я. ЛЯШКЕВИЧ

Чернівецький національний університет

## ОЦІНКА КОРИСНОСТІ ТА ДОСТАТНОСТІ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ У СИСТЕМІ SIMULINK

*У статті запропоновано методи, що дають можливість інтелектуалізувати процес пошуку діагностичної інформації для тестування комп'ютерних пристроїв та систем, визначати її достатність і цим самим уникнути повного аналізу всіх відомих джерел інформації. Представлено алгоритми та програмні засоби оцінки корисності та достатності діагностичної інформації, котрі ґрунтуються на використанні штучних нейронних мереж.*

**Вступ.** Сучасні комп'ютерні пристрої (КП) являють собою складні апаратні засоби, котрі, в свою чергу, є складовими комп'ютерів, комп'ютерних систем та мереж. Однією з визначальних особливостей згаданих засобів є їх надійність функціонування. Забезпечення надійності функціонування здійснюється різними заходами, у тому числі технічним діагностуванням та контролем технічного стану [1].

Діагностування (тестування) комп'ютерних пристроїв є складною технологічною операцією. Його реалізація потребує знання методів та наявності засобів діагностування.

Ряд корисної і необхідної інформації щодо реалізації процесу діагностування можна знайти у фаховій технічній літературі, зокрема, монографіях, підручниках, навчальних та методичних посібниках, наукових статтях, надрукованих у фахових журналах, довідниках.

Відома велика кількість діагностичних програм різного призначення, особливо для персональних комп'ютерів та їх складових. Ряд тестових програм з їх складу може бути використаний не тільки для ПК, а і для інших комп'ютерних пристроїв та систем, наприклад, для мікропроцесорів спеціалізованих комп'ютерних систем і таке ін.

У розмаїтті діагностичної інформації (ДІ) досить важко орієнтуватись навіть експертам-діагностам з досвідом, не кажучи вже про спеціалістів-початківців. Пошук потрібної інформації може зайняти значний відсоток часу із загального часу діагностування КП та систем - і тим самим знизити ефективність їх використання, а в певних випадках - і не дати можливості вчасно відновити їх роботоздатність.

Тому розроблення і впровадження ефективних методів і засобів автоматизованого пошуку ДІ на сьогодні є задачею актуальною.

**Постановка задачі.** Різноманітна інформація про методи і засоби діагностування КП є, як правило, надлишковою і слабкоструктурованою. Тому інформаційний пошук діагностичної інформації відомими методами і способами не завжди задовольняє діагностів, особливо кваліфікованих, тих, що вирішують складні діагностичні задачі.

Не завжди задовольняє їх і пошук діагностичної інформації в мережі Internet з використанням методів бібліографічного пошуку "за каталогом" та тематичного пошуку "за текстом" чи інших відомих методів [2]. Не вирішує задачу пошуку корисності та достатності діагностичної інформації використання гіпертекстової моделі WWW чи ієрархічної моделі Gopher, особливо у документах великих об'ємів. В них неможливий якісний перманентний пошук за довжиною ключового набору у 2-3 слова [3].

Що стосується архітектури сучасних інформаційно-пошукових систем, то вона, внаслідок згаданих раніше факторів, теж не відповідає сучасним вимогам пошуку діагностичної інформації.

Для підвищення ефективності процесу пошуку діагностичної інформації вирішувалась така задача: удосконалення відомих та розроблення нових моделей і методів пошуку діагностичної інформації для тестування КП та відповідної архітектури інформаційно-пошукової системи.

У рамках вирішення цієї задачі були удосконалені відомі та розроблені нові моделі і текстологічні методи пошуку діагностичної інформації.

Текстологічні методи пошуку діагностичної інформації [7] ґрунтуються на пошуку спеціальних текстів з підручників, монографій, статей, методик, технічної документації та інших джерел знань з відповідної предметної галузі. Взагалі, задачу пошуку інформації із зазначених джерел можна розглядати як задачу розуміння і виділення смислу тексту. Сам текст є лише провідником смислу тексту. Основою для процесу пошуку діагностичної інформації є процедура розбиття тексту на частини (“сміслові групи”), а потім стискання вмісту кожної смислової частини у “сміслову віху”. Це, по суті, відшукування набору ключових слів, що передають основний зміст тексту. У якості *ключового слова* може бути будь-яка частина мови чи їх поєднання. Під *набором ключових слів* розумітимемо набір опорних точок, за якими розгортається текст при кодуванні і усвідомлюється при декодуванні.

Задача пошуку діагностичної інформації може вирішуватися різноманітними методами, у тому числі і відомими [4 - 7]. Але щодо ефективності, результати пошуку краще було б оцінити з точки зору їх корисності та достатності [5, 6]. Тому, як задачу для вирішення, оберемо розроблення методів та програмних засобів оцінки корисності та достатності відшуканої ДІ.

**Розроблення методів та програмних засобів оцінки корисності та достатності ДІ для тестування комп’ютерних пристроїв.** У зв’язку з тим, що певна складова тексту може мати кілька ознак ДІ (у нашому випадку кілька зв’язків), то загальна корисність складової тексту  $T$  - вага корисності  $k_{q(\bullet)}$  визначиться за формулою:

$$k_{q(\bullet)} = 1 - \frac{k_s - k_r}{k_s}, \quad (1)$$

де  $k_s$  - сумарна кількість ознак ДІ об’єкта діагностування, що розглядається;  $k_r$  - кількість зв’язків  $r$ -ї складової тексту  $T$  з ознаками ДІ.

Зауважимо, що формула (1) дійсна при умові, коли всі ознаки ДІ мають однакову вагу  $\frac{1}{k_s}$ . У разі їх нерівності  $k_{q(\bullet)}$  визначиться за формулою:

$$k_{q(\bullet)} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^s k_i w_i - \sum_{l=1}^m k_l w_l}{\sum_{i=1}^s k_i w_i}, \quad (2)$$

де  $k_i$  -  $i$ -та ознака ДІ об’єкта діагностування;  $w_i$  - вага  $i$ -ї ознаки ДІ;  $s$  - загальна кількість ознак ДІ;  $k_l$  -  $l$ -й зв’язок складової  $(\bullet)$  тексту  $T$  з ознаками ДІ;  $w_l$  - вага  $l$ -ї ознаки ДІ;  $m$  - кількість зв’язків складової  $(\bullet)$  тексту  $T$ .

Для розроблення бази знань ключових слів складемо таблиці ключових слів. ДІ і відповідні ключові слова можуть відшукуватись як у задалегідь відомих текстах з предметної галузі, так і у невідомих текстах.

Приклад ключових слів для задалегідь відомого тексту представлено у таблиці 1.

Перелік ключових слів при пошуку ДІ у невідомому тексті ідентичний поданому у таблиці 1.

Для відображення значення кількості разів наявності ключового слова у відповідному розділі тексту введемо поняття частотного коефіцієнта ключового слова і відносної оцінки частотного коефіцієнта ключового слова.

Таблиця 1

Зміст книги ( $\lambda'$ )

Назва книги (підручника) та її складових	Ключові слова (набір ключових слів)
Назва книги	Діагностика; контроль; надійність; достовірність; діагностування обчислювальних пристроїв; діагностування (контроль) комп’ютерних пристроїв; діагностування комп’ютерних систем; ...
Назва розділу	Цифрові і мікропроцесорні пристрої та системи як об’єкти діагностування; основні поняття технічної діагностики; основні задачі технічної діагностики; суть технічної діагностики; контроль в ЕОМ; методи контролю цифрових пристроїв; ...
Назва параграфу	Суть і завдання функційного контролю; кодові методи контролю; тестовий контроль; імовірнісний метод тестового контролю; сигнатурний метод тестового контролю; ...

Визначення 1. Частотним коефіцієнтом ключового слова  $x_i$  для розділу (структурної частини) тексту

$L_j$  назвемо кількість разів виявлення цього слова у відповідному розділі  $K_{x_i L_j}$ .

*Визначення 2.* Відносною оцінкою частотного коефіцієнта ключового слова назвемо відношення його частотного коефіцієнта до загальної кількості значущих (що відносяться до напрямку, в котрому ведеться пошук ДІ) слів розділу тексту:  $O_{x_i L_j} = K_{x_i L_j} / K_{zn}$ .

*Визначення 3.* Сумарною відносною оцінкою частотних коефіцієнтів  $k$ -ї складової опису ОД розділу тексту  $L_j$  назвемо значення:

$$S_{k,L_j} = \sum_{i=1}^m O_{x_i L_j}^k,$$

де  $k$  - номер складової опису ОД;  $L_j$  - розділ тексту;  $i = \overline{1, m}$  - кількість відносних оцінок частотних коефіцієнтів ключових слів для  $L_j$  розділу тексту;  $O_{x_i L_j}^k$  - відносні оцінки частотних коефіцієнтів тих ключових слів, які входять до  $k$ -ї складової опису ОД.

Відповідно кожному складову опису ОД для кожного розділу тексту можна оцінити з точки зору його сумарної відносної оцінки частотних коефіцієнтів ключових слів.

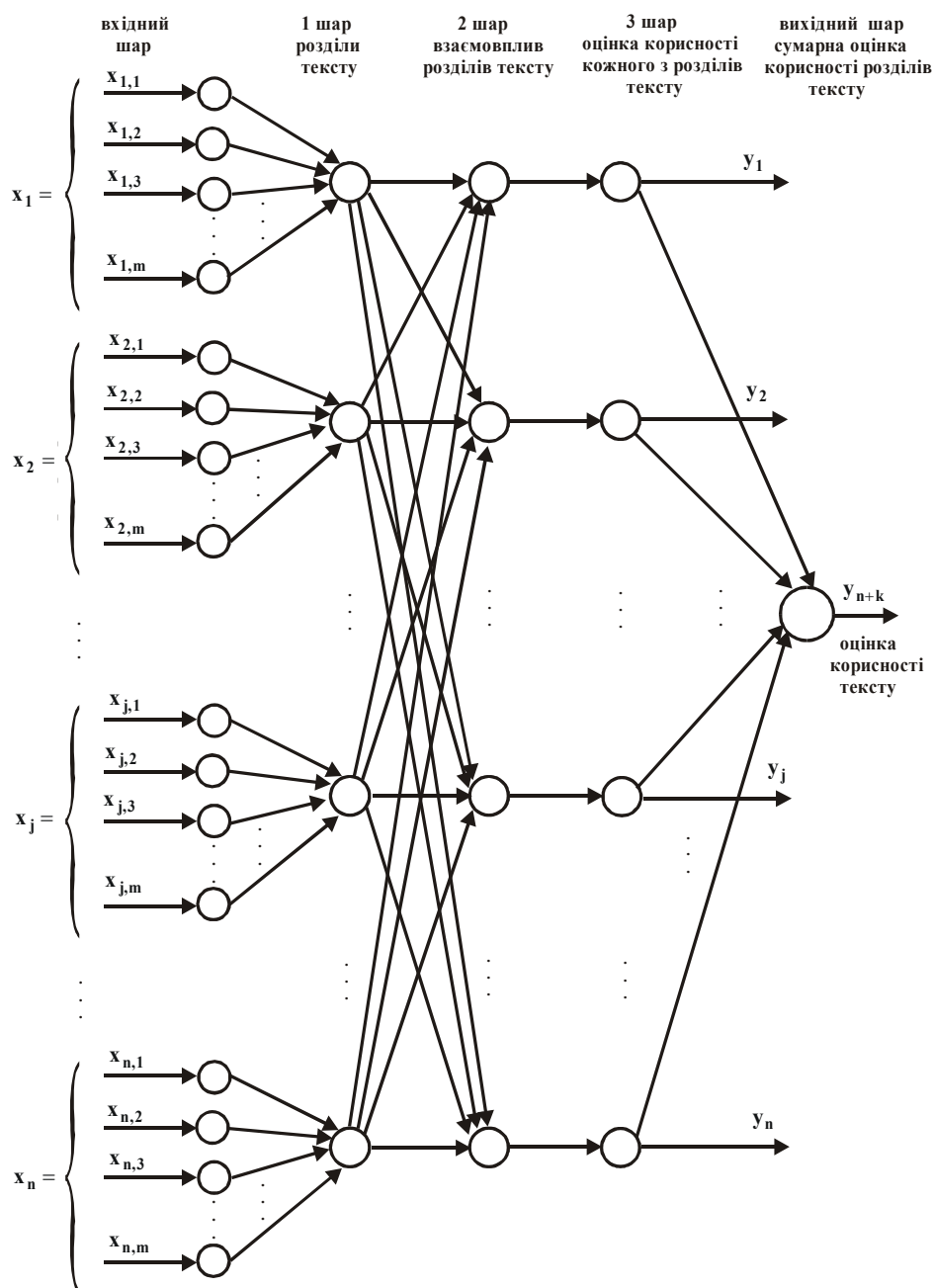


Рис. 1. Архітектура ШНМ визначення корисності тексту та його розділів

Для усіх складових опису ОД знайдемо сумарні відносні оцінки частотних коефіцієнтів ключових слів, що відносяться до відповідних розділів тексту, і сформуємо з них множину векторів відносних оцінок  $S_{k,L_j}$  для усіх розділів тексту. Якщо у тексті відсутня інформація про опис ОД або його ознаки ДІ, то відповідний їй елемент вектора відносних оцінок буде рівний 0. Одержана множина векторів буде множиною входів ШНМ.

Навчання нейронної мережі здійснюватимемо з використанням методу зворотного поширення помилки.

Архітектуру ШНМ визначення корисності тексту та його розділів наведено на рис. 1.

На рис. 1:  $x_{i,j} = S_{i,L_j}$  - значення елементів вхідних векторів відповідають сумарним відносним оцінкам частотних коефіцієнтів;  $n$  - кількість розділів тексту;  $m$  - кількість елементів складових опису ОД.

Розмірність вхідного шару -  $n$  векторів по  $m$  нейронів; 1, 2 та 3-й шари мають по  $n$  нейронів, вихідний шар має 1 нейрон.

Вихідний шар дає оцінку корисності усього тексту як джерела діагностичної інформації.

Значення входів ШНМ (input) лежать у діапазонах, що визначаються за допомогою функції  $\min \max$  :  $pr = \min \max (P)$ , де  $P$  - навчальна вибірка розмірності  $R \times Q$ ;  $pr$  - масив розміру  $R \times 2$  мінімальних та максимальних значень векторів з навчальної вибірки.

Ініціалізація ваг  $w_{i,j}$  усіх шарів ШНМ здійснюється на основі діапазону  $[-1, 1]$ .

Навчання мережі здійснюється за алгоритмом Левенсберга-Марквардта - `trainlm`, що використовується для пошуку екстремуму функції багатьох змінних, алгоритмами градієнтного спуску зі збуренням `GDM` - `traingdm` та градієнтного спуску - `traingd`.

Критерієм якості навчання є сума квадратів помилок навчання.

Використання результатів декількох алгоритмів навчання необхідне у зв'язку з тим, що ШНМ містить нелінійні функції активації, тому немає гарантії досягнення глобального мінімуму функції помилки на основі якогось, окремо взятого, алгоритму. Також необхідно провести геометричний аналіз функції помилок.

Кращий результат буде обрано у якості базового при функціонуванні мережі.

ШНМ має  $n$  входів, що задаються користувачем при створенні та три внутрішні шари. У Matlab кожен розділ тексту моделюється як окремий шар нейромережі. Задамо  $n = 9$  - відповідно до кількості основних розділів тексту.

```
net.numInputs = 9;
net.numLayers = 11;
```

Кількість елементів усіх вхідних векторів буде однаковою, вона дорівнює кількості  $m$  складових опису ОД. Задамо  $m = 11$ .

```
ki = 11;
net.inputs {1}.size = ki;
net.inputs {2}.size = ki;
```

```
...
net.inputs {9}.size = ki.
```

Зміщення (використовується для компенсації похибки оцінювання) присутнє у шарах з 1 по 10 `net.biasConnect = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0]`.

Матриця зв'язків входів має розмірність  $11 \times n = 11 \times 9$ .

Усі вхідні вектори зв'язані з шарами, що відповідають їх номерам:

```
net.inputConnect (1, 1) = 1;
net.inputConnect (2, 2) = 1;
```

```
...
net.inputConnect (9, 9) = 1;
```

Матриця зв'язків ваг внутрішніх шарів має розмірність  $11 \times 11$  та відображає зв'язки, що йдуть від  $i$  до  $j$  шару:

```
net.layerConnect (i, j) = 1.
```

Для розроблюваної ШНМ:

```
net.layerConnect (10, 1) = 1;
net.layerConnect (10, 2) = 1;
```

```
...
net.layerConnect (10, 9) = 1;
net.layerConnect (11, 10) = 1.
```

Матриця виходів складається з 2-х елементів-векторів  $y_1$  та  $y_2$ .

Матриця цілей має лише 1 елемент-вектор  $y_1$ .

```
net.outputConnect = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1];
net.targetConnect = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0].
```

Внутрішні шари нейромережі мають такі параметри:



```
net.layers {1}. size = 92; (n = 9)
net.layers {1}. transferFcn = `tansig`;
net.layers {1}. initFcn = `initnw`.
```

Аналогічно для інших вхідних шарів.

Для навчання мережі використаємо декілька методів, проведемо аналіз їх функцій помилок та оберемо найбільш точний метод. Метод навчання задамо за допомогою оператора `net.trainFcn = `trainlm`` або ``traingd`` і т. і.

Початкові значення ваг 11 шару нейромережі є константними та всі рівні 1.

```
net.layerWeights {11, 10}. delays = 1.
```

Повний опис нейромережі у Simulink наведено на рис. 2.

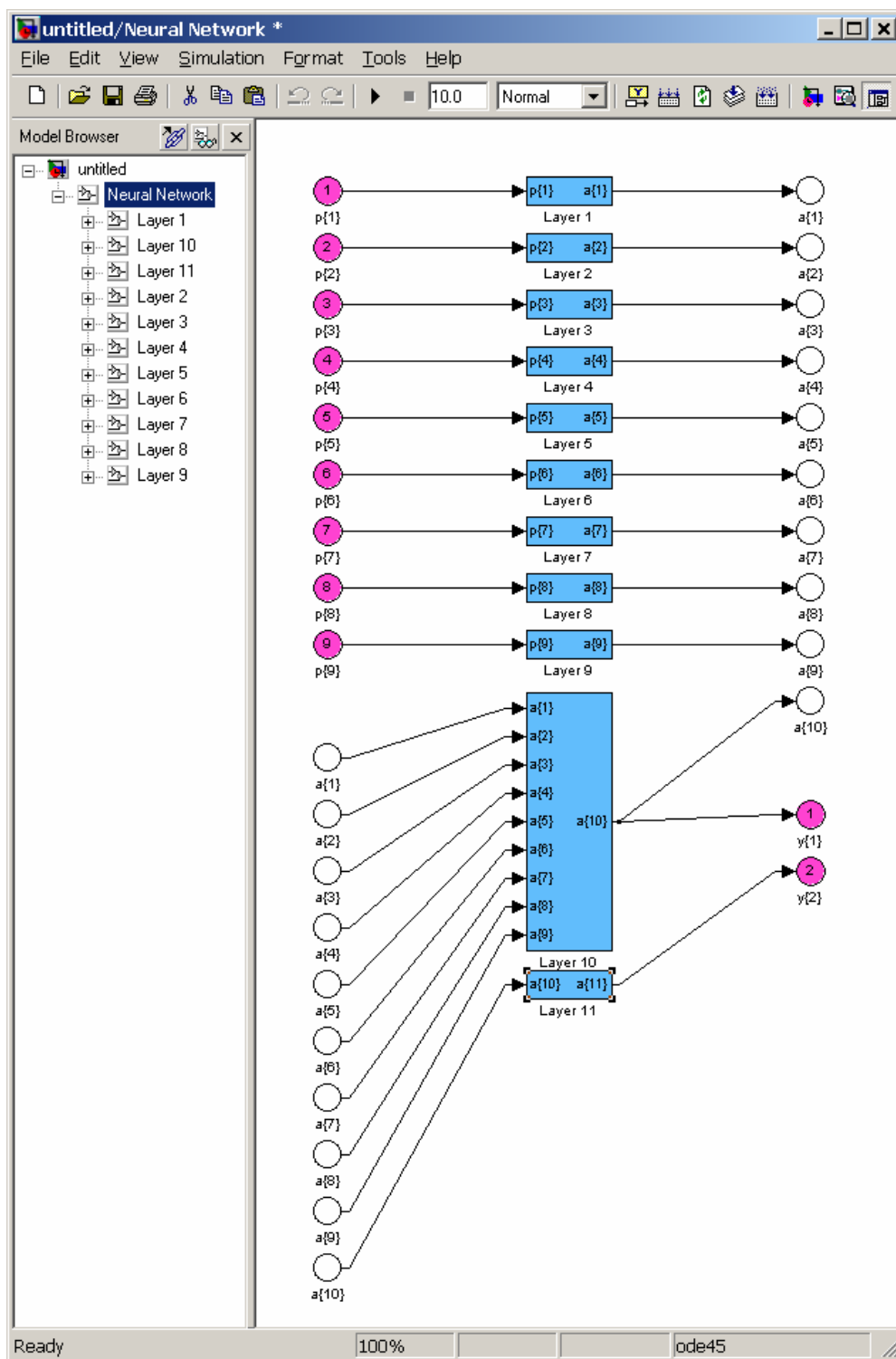


Рис. 2. Нейромережа оцінки корисності тексту у системі Matlab

Для обрання мережі рекомендованої теми пошуку (яка саме діагностична інформація відшукується) перед пошуком необхідно відредагувати набори ключових слів та фраз і відібрати у тимчасову БЗ саме ті, що

цікавлять користувача. Тобто у БЗ формується не просто загальний набір ключових слів та фраз за складовими опису ОД, а формуються тематичні набори ключових слів.

Формування значень вхідного шару нейронної мережі для обчислення оцінки корисності тексту реалізується за Алгоритмом 1.

Алгоритм 1

1. Задати множину ключових слів (на основі тематичних файлів БЗ) у тимчасовій БЗ.
2. Виділити структурні частини тексту.
3. Виділити множину ключових слів у кожній структурній частині тексту.
4. Обчислити частотні коефіцієнти ключових слів у кожній структурній частині тексту.
5. Обчислити відносні оцінки частотних коефіцієнтів ключових слів у кожній структурній частині тексту.
6. Обчислити сумарні відносні оцінки частотних коефіцієнтів ключових слів для кожної складової опису ОД у структурних частинах тексту та сформувати на їх основі множину вхідних векторів.

Операції 3-6 Алгоритму 1 автоматизуються.

Використання нейронної мережі для обчислення оцінки корисності тексту здійснюється за Алгоритмом 2.

Алгоритм 2

1. Обрати складову опису ОД, для якої здійснюється пошук інформації, та завантажити у тимчасову БЗ список ключових слів для неї.
2. Обрати текст та виділити структурні частини тексту.
3. Виділити множину ключових слів у кожній структурній частині тексту.
4. Сформувати значення векторів вхідного шару ШНМ за Алгоритмом 1.
5. Провести визначення оцінок корисності тексту та його розділів.

Процес відбору корисних текстів, що містять діагностичну інформацію, регулюється оцінкою достатності об'ємів діагностичної інформації.

Оцінка достатності об'ємів діагностичної інформації на основі обчислення тільки сумарних значень корисності текстів чи їх розділів не є ефективною, оскільки невідомі залежності і взаємопливи об'ємів корисності ДІ у різних розділах тексту для забезпечення успішності процесу тестування КП.

Для різних типів текстів, або навіть текстів різних авторів, такі залежності та взаємопливи не є константними, що робить неможливим використання аналітичних виразів для оцінки достатності об'ємів ДІ.

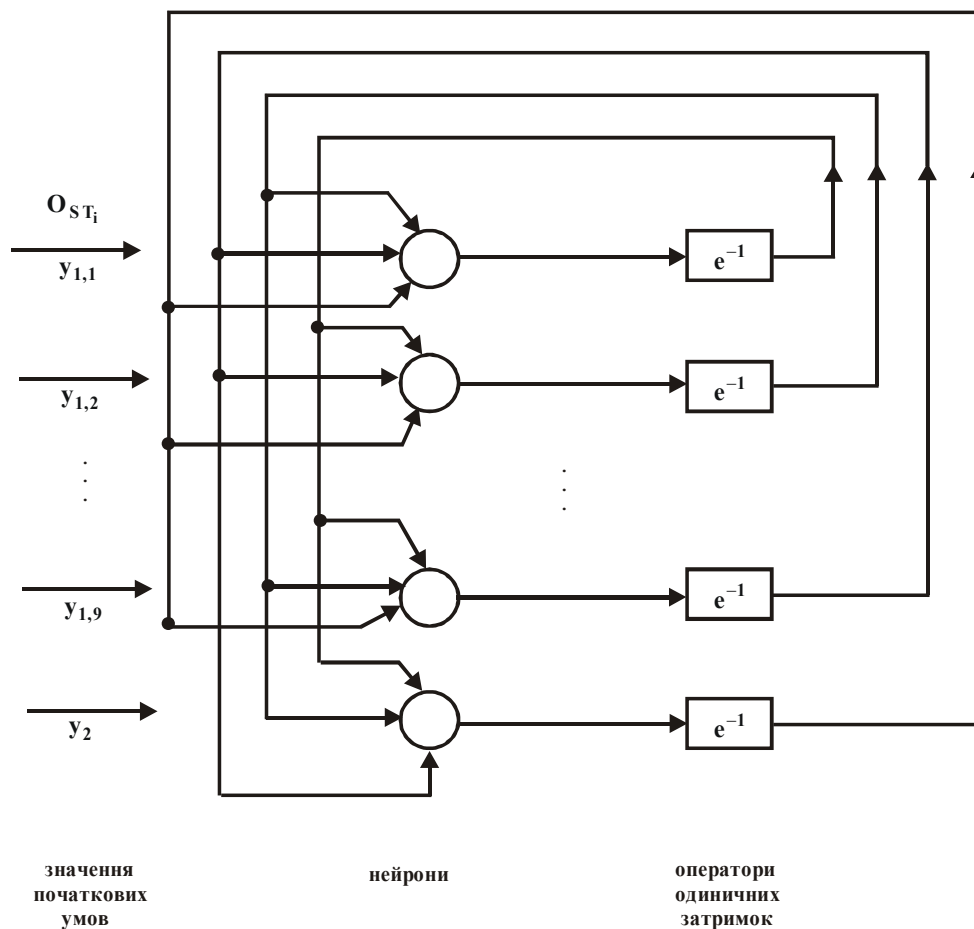


Рис. 3. Архітектура мережі Хопфілда для оцінки достатності об'ємів ДІ

Ефективним засобом оцінки достатності ДІ є асоціативна пам'ять. Розглядатимемо вектор корисності

розділів тексту та загальну оцінку корисності тексту (виходи ШНМ - оцінки корисності) як цільовий вектор, що відображає набір характерних ознак оцінки достатності ДІ цього тексту. Рекурентну нейронну мережу, стан рівноваги котрої співпадає з цим цільовим вектором, будемо розглядати у якості асоціативної пам'яті.

Використання асоціативної пам'яті для оцінки достатності ДІ виконаємо наступним шляхом.

На вхід ШНМ (рис. 3) подаватимемо вектор  $O_{ST_1} = [y_{1T_1}, y_{2T_1}]$  для деякого тексту у якості початкової умови. Результатом функціонування ШНМ буде положення рівноваги, що дасть змогу асоціювати вектор входу з оцінкою достатності ДІ у цьому тексті.

Якщо оцінка достатності ДІ тексту є нижчою, ніж потрібно для успішного процесу тестування КП, то береться вектор  $[y_{1T_2}, y_{2T_2}]$  наступного тексту і знаходиться сумарна оцінка корисності:

$$O_{ST_2} = [y_{1T_1} + y_{1T_2}, y_{2T_1} + y_{2T_2}],$$

котра подається у ШНМ в якості початкової умови.

Накопичення сумарної оцінки корисності

$$O_{ST_i} = \left[ \sum_{i=1}^n y_{1i}, \sum_{i=1}^n y_{2i} \right]$$

здійснюється доти, поки положення рівноваги асоціативної пам'яті не буде відповідати асоціації  $O_{ST_i}$  з відповідною оцінкою достатності ДІ для  $n$  текстів.

Реалізацію таких асоціативних можливостей здійснимо за допомогою дискретної ШНМ Хопфілда (рис. 3). Ця мережа за скінченне число тактів часу з довільного початкового стану приходиться до стану чіткої рівноваги (атрактору). Вага має дві фази роботи - фазу зберігання та фазу витягнення (здобуття).

Фаза зберігання передбачає зберігання множини  $N$ -мірних векторів-образів. Синаптична вага від  $i$  до  $j$  нейрона визначається як:

$$w_{ji} = \frac{1}{w} \sum_{\mu=1}^N \xi_{\mu j} \cdot \xi_{\mu i},$$

де  $\xi_{\mu i}$  і  $\xi_{\mu j}$  -  $i$ -й та  $j$ -й елементи фундаментальної пам'яті  $\xi_{\mu}$ , клас пам'яті  $\mu = 1, 2, \dots, M$ . Ця операція є однокроковою.

При нормальній роботі мережі Хопфілда  $w_{ji} = 0$  для усіх  $i$ , тобто нейрони не мають зворотних зв'язків самих з собою.

Фаза витягнення передбачає подавання  $n$ -мірного вектору  $\xi_{\text{проб}}$  у мережу Хопфілда в якості її початкового стану. Елементи цього вектора дорівнюють  $\pm 1$ . Вектор  $\xi_{\text{проб}}$  являє собою неповну або зашумлену версію фундаментальної пам'яті мережі. Після цього витягнення інформації здійснюється за рахунок асинхронного переключення значень нейронів мережі (з 1-го - в 1-е, з 1-го - в 0-е) до тих пір, поки переключення не перестануть відбуватися. Тобто, починаючи з довільного пробного вектора  $\xi_{\text{проб}}$ , мережа створить інваріантний у часі вектор  $y$ , окремі елементи якого задовольнятимуть умові стійкості:

$$y_i = \text{sgn} \left( \sum_{i=1}^N w_{ij} y_j + b_j \right), \quad j = \overline{1, N}. \text{ Одержане значення } y_i \text{ буде шуканим стійким станом мережі Хопфілда.}$$

Мережа Хопфілда може мати множини невірних (помилкових) станів (власні значення матриці  $W$  вироджуються), тобто, якщо одиничний куб має  $N$  вимірів, а існує лише  $M < N$  комірок фундаментальної пам'яті, то  $N - M$  вимірів будуть невірними атракторами (помилковими), так ще називають паразитні точки рівноваги. У той же час вони будуть відображати стійкі стани мережі Хопфілда. Виявлення та класифікацію невірних атракторів здійснимо шляхом тестування мережі Хопфілда. Ємність мережі Хопфілда  $0,15 \cdot N$  станів.

Для навчання ШНМ оцінки достатності об'ємів ДІ формуються навчальні вибірки на основі оцінок корисності розділів текстів для складових опису ОД.

Підготовка інформації для навчання ШНМ Хопфілда здійснюється за Алгоритмом 3.

#### Алгоритм 3

1. Початок. Обираємо складову опису ОД. Поки є складові опису ОД - п. 2, інакше - п.5.
2. Для усіх оцінок корисності  $[y_1, y_2]$  кожного тексту вказуємо експертну оцінку достатності ДІ  $\text{ДІ}_{T_1}$ , яка дорівнює 0 чи 1 для обраної складової опису ОД. Якщо серед оцінок корисності є  $\text{ДІ}_{T_1} = 0$ , то видалимо з вибірки вектори з  $\text{ДІ}_{T_1} = 1$ , а для тих, що залишилися, формуємо набори текстів  $T_1 T_2$ ;  $T_2 T_3$  (в порядку переліку), обчислюємо для них сумарні оцінки корисності  $[y_1^1 + y_1^2; y_2^1 + y_2^2]$ ,  $[y_1^2 + y_1^3; y_2^2 + y_2^3]$ ,  $[y_1^3 + y_1^4; y_2^3 + y_2^4]$ ,... та вказуємо експертні оцінки  $\text{ДІ}_{T_1^k} = 1$

чи 0. Якщо існують  $ДІ_{T_i^k} = 0$ , то п. 3, інакше - п.4.

3. Поки  $є ДІ_{T_i^k} = 0$ , видаляємо з вибірки вектори з  $ДІ_{T_i^k} = 1$  та формуємо набори трійок, четвірок і т. д. текстів:  $T_1T_2T_3$ ,  $T_2T_3T_4...$  - трійки,  $T_1T_2T_3T_4$ ,  $T_2T_3T_4T_5$ ,  $T_3T_4T_5T_6...$  - четвірки і т. д., обчислюємо для них сумарні оцінки корисності та вказуємо  $ДІ_{T_i^k}$ . п. 4.

4. Формуємо множину для навчання ШНМ у вигляді:  $T = \{[y_1^1, y_2^1], [y_1^2, y_2^2], \dots, [y_1^l, y_2^l]\}$ ,  $i = \overline{1, l}$ , де  $[y_1^i, y_2^i]$  - ті набори значень оцінок корисності, для яких оцінка достатності ДІ дорівнює 1. п. 1.

5. Кінець.

До складу навчальної вибірки входять лише ті набори значень оцінок корисності, для яких оцінка достатності дорівнює 1. Вони і є стійкими точками - атракторами мережі.

Проведемо нормування обраних наборів значень оцінок корисності. Якщо значення елементів векторів  $[y_1, y_2]$  більше 0,7, то воно стає рівним 1, інакше - присвоюємо йому значення -1. Після цього навчальна вибірка сформована.

Здійсимо моделювання ШНМ для оцінки достатності ДІ у системі Matlab. Структурну схему мережі представлено на рис. 4. Атрактори мережі описуються вектором  $[y_1, y_2]$  показників корисності тексту та його розділів з 10 значень:  $[y_{1,1}, y_{1,2}, y_{1,3}, \dots, y_{1,9}, y_2]$ .

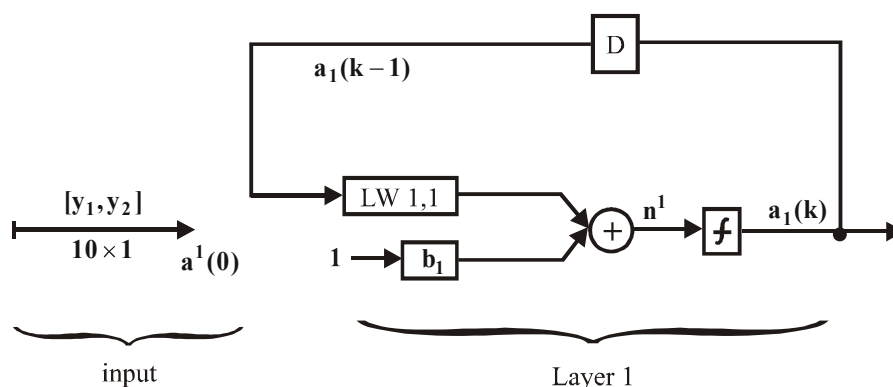


Рис. 4. Структурна схема мережі Хопфілда у системі Matlab

Мережа використовує лінійну функцію активації:

$$satlins(n) = \begin{cases} -1, & n < -1 \\ n, & -1 < n < 1 \\ 1, & n > 1 \end{cases}$$

Кількість точок рівноваги для навчання мережі Хопфілда рівна кількості наборів значень оцінок корисності з оцінкою достатності рівною 1: для навчальної вибірки з 80 текстів - таких значень приблизно 48.

Розмірність карти  $2^{10}$ .

Синтез мережі: `net = newhop(T);`

Побудуємо модель мережі у системі Simulink:

`gensim (net);`

Структура шару мережі: `net.layers {1}` з Matlab.

`ans =`

```

dimensions: 10
distanceFcn: ''
distances: []
initFcn: 'initwb'
netInputFcn: 'netsum'
positions: [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9]
size: 10
topologyFcn: 'hextop'
transferFcn: 'satlins'
userdata: [1x1 struct]
    
```

Після створення ШНМ перевіримо, чи точки рівноваги цільових векторів дійсно належать вершинам

гіперкуба.

### Висновки

Для підвищення ефективності процесу пошуку ДІ автором були удосконалені відомі та розроблені нові моделі і методи пошуку ДІ, котрі ґрунтуються на інтелектуальній оцінці корисності та достатності діагностичної інформації для тестування комп'ютерних пристроїв та систем. Невідомість залежностей та взаємовпливів різних типів текстів щодо корисності ДІ унеможливило використання аналітичних виразів для оцінки достатності ДІ. Краще описують згадані взаємозалежності та взаємовпливи нейромережні методи, зокрема, ШНМ типу "асоціативна пам'ять".

Розроблені методи та програмні засоби оцінки корисності та достатності ДІ для тестування комп'ютерних пристроїв дають можливість змінювати чи уточнювати множину ознак ДІ з метою вибору таких джерел інформації, які були б достатні для реалізації процесу тестування конкретного комп'ютерного пристрою.

### Література

1. Локазюк В. М., Савченко Ю. Г. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК: Навчальний посібник для вузів / За ред. В. М. Локазюка. – Київ: "Академія" (Альма-матер), 2004. - 376с.
2. Когаловский М. Р. Перспективные технологии информационных систем. М.: ДМК Пресс; М.: Компания АйТи, 2003. - 288 с.
3. Cowie J., Lehnert W. G., 1996. Information Extraction // Comm. ACM. - No. 39 (1).
4. Локазюк В. М., Ляшкевич В. Я. Проблеми розроблення й інформаційно-пошукової системи діагностування комп'ютерних пристроїв // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ. - 2005. - №4, Ч1,Т2 – С.169 - 175.
5. Локазюк В. М., Ляшкевич В. Я. Концептуальна модель пошуку діагностичної інформації для тестування комп'ютерних пристроїв // Міжнародний наук.-техн. журнал "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія". - Вінниця: ВНТУ. - 2005. - №3. - С. 221 - 228.
6. Локазюк В. М., Ляшкевич В. Я. Інформаційна система пошуку діагностичної інформації мікропроцесорних пристроїв // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут". - 2006. - №.6 (18). – С.103 - 109.
7. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. - СПб: Питер, 2000. - 384 с.
8. Li j., Michel A. N., Porod. W. Analysis and synthesis of a class of neural networks: linear systems operating on a closed hypercube // IEEE Transactions on Circuits and Systems. - 1989. - Vol. 36 - №11. - P. 1405 - 1422.

Надійшла 14.10.2006 р.

УДК 621.395

О.В. ІВАНОВ

Хмельницький національний університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ КОМУТАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

*В статті розглянуті питання вирішення задачі оптимізації структури комутаційної системи надання телекомунікаційних послуг. Задача оптимізації структури комутаційної системи вирішується на базі теорії генетичних алгоритмів. Наведено приклад реалізації генетичного алгоритму для оптимізації кількості інтерфейсних портів різних типів, знайдені значення оптимальних кількостей поколінь та особин популяції.*

**Вступ.** Засоби телефонного зв'язку відіграють особливу роль у глобальній інформатизації суспільства. На сьогодні вони представлені новими інформаційними технологіями, зокрема, мобільним зв'язком, IP-телефонією і таке ін. Телекомунікаційні канали зв'язку використовуються для масового доступу до глобальної мережі Internet. Користуються попитом й інші телекомунікаційні послуги, зокрема, з'єднання домашніх комп'ютерів через швидкісну транспортну лінію.

Потреби населення у телекомунікаційних послугах постійно зростають, як і можливості телекомунікаційних компаній. При цьому абоненти бажають, щоб ці послуги були найдешевшими, а оператори – зацікавлені у швидкій окупності матеріальних витрат наданих послуг і одержанні прибутків.

**Формулювання задачі.** Для визначення залежності витрат на надання телекомунікаційних послуг та їх окупності умовно розподілимо абонентське середовище на декілька груп [1].

До першої групи віднесемо абонентів житлових районів, до другої – абонентів, що є юридичними особами з кількістю телефонів до 15-ти. Це невеликі фірми, малі підприємства тощо. До третьої групи віднесемо абонентів, що є юридичні особи, що мають кількість телефонів більше 15-и. Це середні та великі підприємства, фінансові установи, навчальні заклади тощо. Кожна із зазначених груп має свої телекомунікаційні

потреби. Серед них: а) телефонний зв'язок; б) доступ до мережі Internet (комутований); в) доступ до мережі Internet (виділена лінія); г) "місцевий Ethernet"; д) виділений швидкісний Internet (Real IP); е) цифрові канали для виділених підрозділів та партнерів; є) радіозв'язок малого радіусу дії типу DECT; ж) інші потреби.

Виходячи з потреб абонента на той чи інший тип послуг, перед оператором постає задача підбору технології, за допомогою якої таку послугу можна надати. Підбір технології визначається багатьма факторами, основні з яких – це вартість, масштабованість, окупність та ін.

Основною задачею у такому разі є визначення економічної доцільності надання телекомунікаційних послуг з врахуванням витрат оператора на їх реалізацію. У такому разі постає задача оптимізації кількості портів різних типів, що мають входити до комутаційної системи під час її комплектування, з врахуванням потреб абонентських середовищ. Вибір оптимальної структури забезпечить для операторів мінімальну вартість витрачених засобів для технічної реалізації комутаційної системи та швидку окупність надання телекомунікаційних послуг.

Питання оптимізації кількості портів різних типів при комплектуванні комутаційної системи обслуговування різних абонентських середовищ на сьогодні є невирішеними.

**Вирішення задачі.** Розглянемо на прикладі вирішення задачі оптимізації структури комутаційної системи за допомогою генетичних алгоритмів.

Нехай у результаті функціонування штучної нейронної мережі оптимізації надання телекомунікаційних послуг визначено групи абонентів  $A$ ,  $B$  і  $C$  у кількості  $N_A = 1000$ ,  $N_B = 150$ ,  $N_C = 12$  [1].

Телекомунікаційні потреби кожної групи визначені у вигляді множин  $P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_C$ , до складу яких входять:

- потреби групи  $A$ :

а)  $P_1^a$  – телефонний зв'язок;

б)  $P_2^a$  – доступ до мережі Internet (комутований);

в)  $P_3^a$  – "місцевий Ethernet";

- потреби групи  $B$ :

а)  $P_1^b$  – телефонний зв'язок (пряме підключення, або за допомогою використання міні-АТС, здійснюється через аналогові або цифрові лінії ISDN PRI);

б)  $P_2^b$  – доступ до мережі Internet (виділена лінія);

- потреби групи  $C$ :

а)  $P_1^c$  – телефонний зв'язок (як правило, використовуючи відомчу АТС та ISDN PRI);

б)  $P_2^c$  – виділений швидкісний Internet (Real IP);

в)  $P_3^c$  – цифрові канали для виділених підрозділів та партнерів;

г)  $P_4^c$  – радіозв'язок малого радіусу дії типу DECT.

Потреби кожної з цих груп абонентів реалізуються з використанням комутаційної системи, що складається з множини портів  $X = \{x_1 \dots x_6\}$ , де:

$x_1$  – аналогові телефонні порти;

$x_2$  – цифрові порти ISDN PRI;

$x_3$  – широкополосні порти;

$x_4$  – комбіновані порти ISDN PRI+Ethernet;

$x_5$  – лінії комутованого доступу до мережі Інтернет;

$x_6$  – канали радіо доступу (DECT, WiFi, WiMAX).

Множина вартостей портів  $V_x$  визначається як  $V_x = \{V_{x_1}, V_{x_2}, \dots, V_{x_6}\}$ , де:

$V_{x_1}$  – 90 у. о. на 1 номер;

$V_{x_2}$  – 250 у. о. на 1 номер;

$V_{x_3}$  – 270 у. о. на 1 номер;

$V_{x_4}$  – 1150 у. о. на 30 номерів;

$V_{x_5}$  – 3000 у. о. на 30 ліній;

$V_{x_6}$  – 600 у. о. на 5 юридичних осіб (абонентів групи  $C$ ).

Якщо  $N_A, N_B, N_C$  – оптимальні кількості абонентів у групах  $A, B$  і  $C$ , то кількість портів  $i$ -го типу, необхідних для забезпечення потреб групи  $A$ , визначимо як  $\frac{N_A}{K_{x_i}}$ , де  $K_{x_i}$  – кількість абонентів, що їх обслуговує порт  $x_i$  типу одночасно. Вартість портів  $x_i$  типу для забезпечення потреб оптимальної кількості абонентів групи  $A$  визначимо як  $\frac{N_A}{K_{x_i}} \cdot V_{x_i}$ .

Вартість реалізації  $V_{X_{p_i^a}}$  потреби  $p_i$  групи  $P_A$  визначимо, врахувавши вартість реалізованих портів та оптимальну кількість абонентів у групі:

$$V_{X_{p_i^a}} = \sum_{j=1}^n \frac{N_A}{K_{x_j}} \cdot V_{x_j}. \quad (1)$$

Аналогічно знаходимо значення вартостей інших потреб  $P_A, P_B$  і  $P_C$ .

Вартість реалізації  $V_A$  усіх  $k$  потреб абонентів групи  $A$ :

$$V_A = \sum_{i=1}^k V_{X_{p_i^a}}.$$

Сумарна вартість реалізації  $V$  усіх потреб для груп  $A, B$  і  $C$ :

$$V = V_A + V_B + V_C = \sum_{i=1}^k V_{X_{p_i^a}} + \sum_{i=1}^m V_{X_{p_i^b}} + \sum_{i=1}^l V_{X_{p_i^c}}. \quad (2)$$

Мінімізація капіталовкладень оператора здійснюється шляхом визначення оптимальної кількості портів того чи іншого типу для комплектування комутаційної системи:

$$L_{\text{опт}} = V \rightarrow \min. \quad (3)$$

Порти  $x_i$  можуть виконувати різні функції, наприклад, порт  $x_1$  може використовуватись як для надання телефонних послуг, так і для забезпечення доступу до Internet в режимі Dial-up.

Така багатофункційність портів призводить до утруднень вирішення задачі оптимізації кількості портів комутаційного вузла.

*Визначення 1.* Функційнооднорідними портами назвемо такі порти, які можуть реалізовувати однакові функції.

Можливості портів  $x_i$  з реалізації потреб абонентів визначимо наступним чином:

- порт  $x_1$  може задовольняти потреби  $P_1^a, P_2^a$ ;
- порт  $x_2$  може задовольняти потреби  $P_1^a, P_1^b, P_1^c, P_2^a, P_2^b, P_2^c$ ;
- порт  $x_3$  може задовольняти потреби  $P_1^a, P_2^b, P_2^c, P_3^c$ ;
- порт  $x_4$  може задовольняти потреби  $P_1^a, P_1^b, P_1^c, P_2^b, P_2^c, P_3^a$ ;
- порт  $x_5$  може задовольняти потреби  $P_1^b, P_1^c, P_2^a$ ;
- порт  $x_6$  може задовольняти потреби  $P_1^b, P_1^c, P_2^b, P_2^c, P_4^c$ .

Для врахування багатофункційності портів, котра дає можливість взаємозамінювання портів, для функції вартості (2) сформуємо систему обмежень кількості портів різних типів для задоволення потреб груп. Для окремих груп абонентів обмеження мають вигляд:

- реалізація потреби  $P_1^a$  може здійснюватись з використанням портів  $x_1, x_2, x_3, x_4$ . Отже реалізація цієї потреби для  $N_A = 1000$  абонентів має сумарну кількість задіяних портів не меншу кількості абонентів:

$$(N_{x_1} \cdot K_{x_1} + N_{x_2} \cdot K_{x_2} + N_{x_3} \cdot K_{x_3} + N_{x_4} \cdot K_{x_4}) \geq N_A,$$

де  $N_{x_i}$  – кількість портів  $x_i$  типу;  $K_{x_i}$  – кількість абонентів, що їх може обслуговувати порт одночасно (для  $x_4 = 30$ , для  $x_1, x_2, x_3$  кількості рівні 1).

Отже, реалізація потреби  $P_1^a$  має обмеження:

$$(N_{x_1} + N_{x_2} + N_{x_3} + N_{x_4} \cdot 30) \geq 1000. \quad (4)$$

Аналогічно визначимо обмеження для усіх інших потреб:

$$P_2^a : (N_{x_1} + N_{x_2} + N_{x_5} \cdot 30) \geq N_a = 1000; \quad (5)$$

$$P_3^a : (N_{x_4} \cdot 30) \geq 1000; \quad (6)$$

$$P_1^b : (N_{x_4} \cdot 30 + N_{x_5} \cdot 30) \geq N_b = 150; \quad (7)$$

$$P_2^b : (N_{x_2} + N_{x_3} + N_{x_4} \cdot 30 + N_{x_6} \cdot 5) \geq 150; \quad (8)$$

$$P_1^c : (N_{x_2} + N_{x_4} \cdot 30 + N_{x_5} \cdot 30 + N_{x_6} \cdot 5) \geq N_c = 12; \quad (9)$$

$$P_2^c : (N_{x_2} + N_{x_3} + N_{x_4} \cdot 30 + N_{x_6} \cdot 5) \geq 12; \quad (10)$$

$$P_3^c : N_{x_3} \geq 12; \quad (11)$$

$$P_4^c : N_{x_6} \cdot 5 \geq 12. \quad (12)$$

Вирішення задачі мінімізації функції вартості комутаційного вузла (2), (3) при виконанні умов (4-12) забезпечить задоволення потреб усіх груп абонентів та оптимальну вартість комутаційного вузла.

Для вирішення цієї задачі оптимізації використаємо такий компонент штучного інтелекту як генетичний алгоритм.

Моделювання генетичного алгоритму здійснимо у пакеті Matlab 7.0.1 з використанням Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox. Опис функції, що оптимізується, та обмеження помістимо в окермий файл з іменем fun1.m.

Для задачі, що розглядається, функція вартості визначається як сума добутків кількості портів для реалізації потреб на вартість портів і на кількість користувачів, яким ця потреба необхідна:

$$V = (nx(1) \cdot 90 + nx(2) \cdot 250 + nx(3) \cdot 270 + nx(4) \cdot 1150) / 30 + 1000 + (nx(1) \cdot 90 + nx(2) \cdot 250 + nx(5) \cdot 3000) / 30 \cdot 1000 + (nx(4) \cdot 1150) / 30 \cdot 1000 + (nx(4) \cdot 1150) / 30 + nx(5) \cdot 3000 / 30 \cdot 150 + (nx(2) \cdot 250 + nx(3) \cdot 270 + nx(4) \cdot 1150) / 30 + nx(6) \cdot 600 / 5 + 150 + (nx(2) \cdot 250 + nx(4) \cdot 1150) / 30 + nx(5) \cdot 3000 / 30 + nx(6) \cdot 600 / 5 \cdot 12 + (nx(2) \cdot 250 + nx(3) \cdot 270 + nx(4) \cdot 1150) / 30 + nx(6) \cdot 600 / 5 \cdot 12 + nx(3) \cdot 270 \cdot 12 + nx(6) \cdot 600 / 5 \cdot 12 \rightarrow \min,$$

де  $nx(i)$  – кількість портів  $i$ -го типу.

Після спрощення:

$$V = 18000 \cdot nx(1) + 543500 \cdot nx(2) + 316980 \cdot nx(3) + 89010 \cdot nx(4) + 117200 \cdot nx(5) + 22320 \cdot nx(6) \rightarrow \min .$$

У файл fun1.m були внесені обмеження та цільова функція:

```
function V=fun1 (nx)
if (nx (1)+nx (2)+nx (3)+30*nx (4)>=1000)& (nx (1)+nx (2)+30*nx (5)>=1000)& (30*nx (4)>=1000)& (nx (4)+nx (5)>=50)&...
(nx (2)+nx (3)+30*nx (4)+5*nx (6)>=150)& (nx (2)+30*nx (4)+30*nx (5)+5*nx (6)>=12)& (nx (6)>=0)&...
(nx (2)+nx (3)+30*nx (4)+5*nx (6)>=12)& (nx (3)>=12)& (5*nx (6)>=12)& (nx (1)>=0)& (nx (2)>=0)& (nx (3)>=0)& (nx (4)>=0)& (nx (5)>=0)
V=18*nx (1)+543.5*nx (2)+316.98*nx (3)+89.01*nx (4)+117.2*nx (5)+22.32*nx (6);
else V=1000000;
end;
```

Для вирішення задачі оптимізації використовувались засоби реалізації генетичного алгоритму (ГА) з графічним інтерфейсом, що викликаються за допомогою команди gatool. У якості параметрів були задані: функція придатності, котру необхідно оптимізувати (fun1.m); кількість змінних (6 портів). Інші значення параметрів ГА варіювалися у різних експериментах.

Результати вирішення задачі мінімізації цільової функції та пошуку оптимальних значень кількостей портів з використанням ГА наведені на рис. 2 – 10. Верхні графіки на рисунках відображають значення цільової функції (вісь  $Y$ ) протягом зміни поколінь (вісь  $X$ ). На нижніх графіках зображено гістограми оптимальних значень кількості портів  $N_{x_1} \dots N_{x_6}$  (вісь  $Y$ ).

Приклади значень цільової функції, округлені у більшу сторону значень кількості портів, кількості ітерацій та розміру популяції наведено у табл. 1.



Результати роботи генетичного алгоритму

№ досліду	Кількість особин в популяції	Кількість ітерацій для досягнення оптимального значення V	Оптимальне значення функції вартості (тис. у. о.)	Значення кількості портів різних типів					
				$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
1	10	980	11870	1	1	15	34	34	4
2	10	680	11107	1	1	13	35	35	3
3	20	890	10849	0	0	12	34	35	3
4	20	310	12782	1	2	13	38	34	20
5	20	880	11824	2	1	14	37	35	4
6	25	630	11655	43	1	13	35	32	4
7	25	950	10983	0	1	13	34	34	3
8	30	390	10958	1	1	13	34	34	3
9	40	960	10876	4	0	13	34	34	3
10	50	700	10789	1	1	13	34	34	3

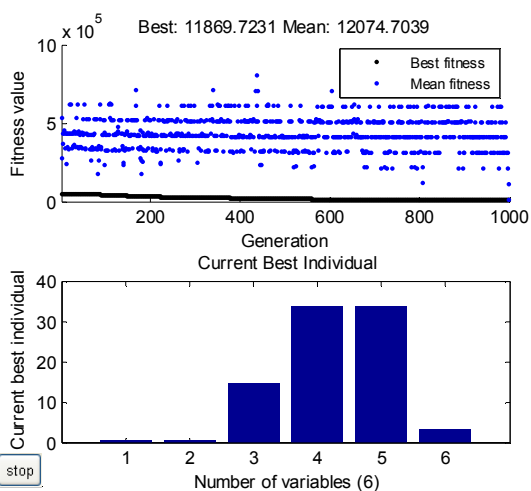


Рис. 2 (до № 1) Пошук рішення для популяції з 10 особин

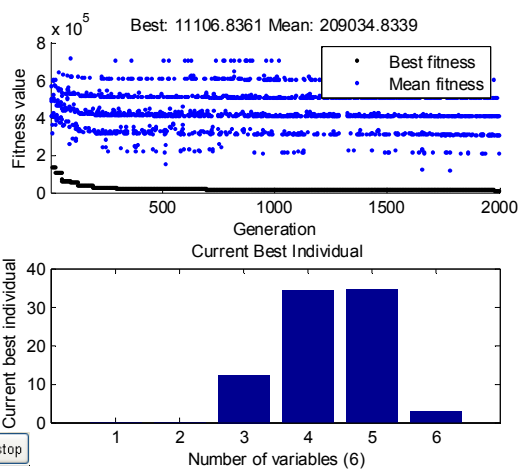


Рис. 3. (до № 2) Пошук рішення для популяції з 10 особин

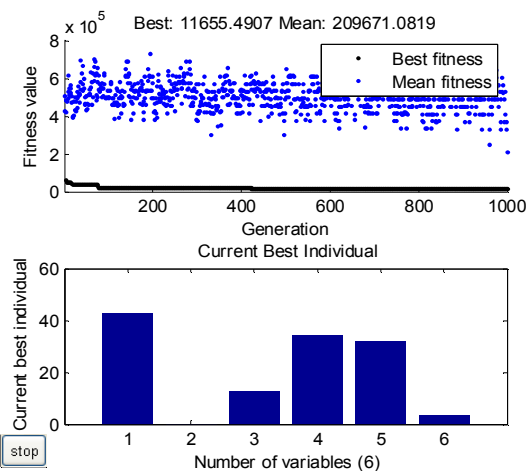


Рис 6. (до № 6) Пошук рішення для популяції з 25 особин

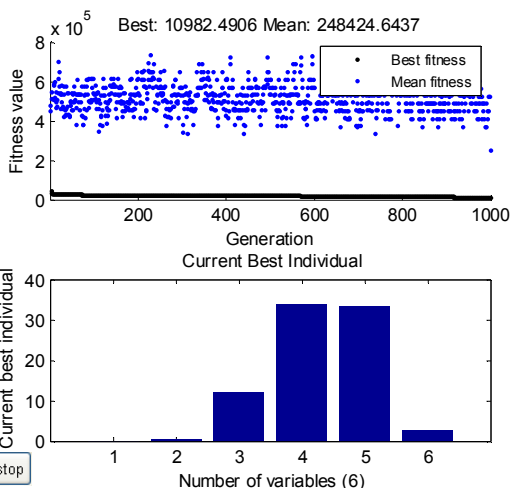


Рис. 7. (до № 7) Пошук рішення для популяції з 25 особин

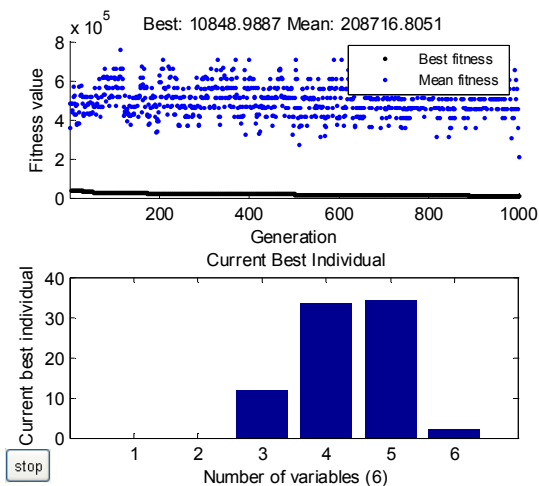


Рис. 4 (до № 3) Пошук рішення для популяції з 20 особин

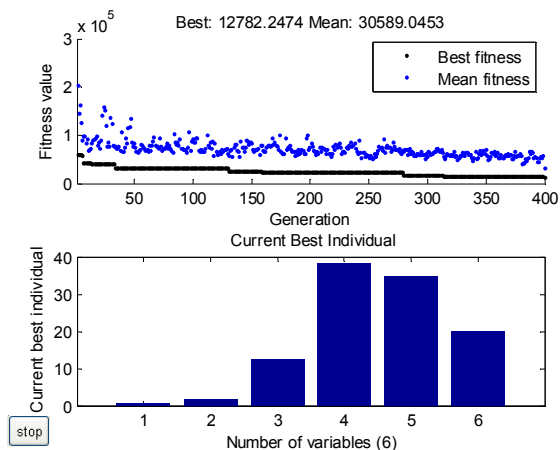


Рис. 5. (до № 4) Пошук рішення для популяції з 20 особин

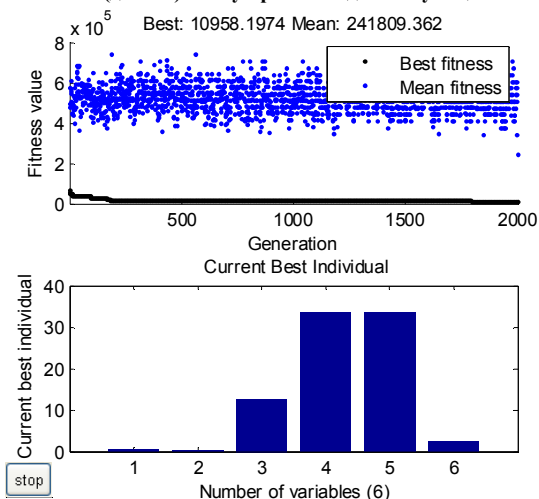


Рис. 8. (до № 8) Пошук рішення для популяції з 30 особин

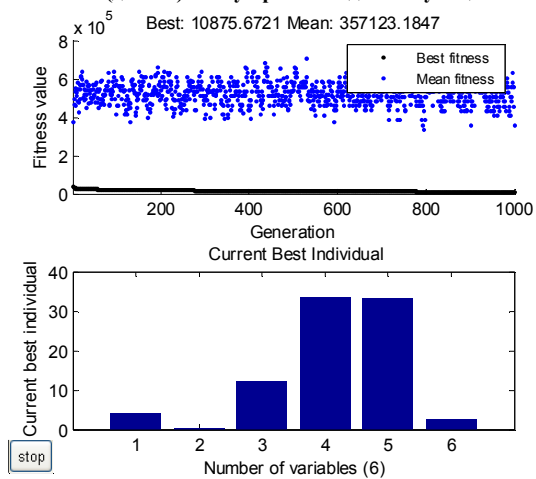


Рис. 9 (до № 9) Пошук рішення для популяції з 40 особин

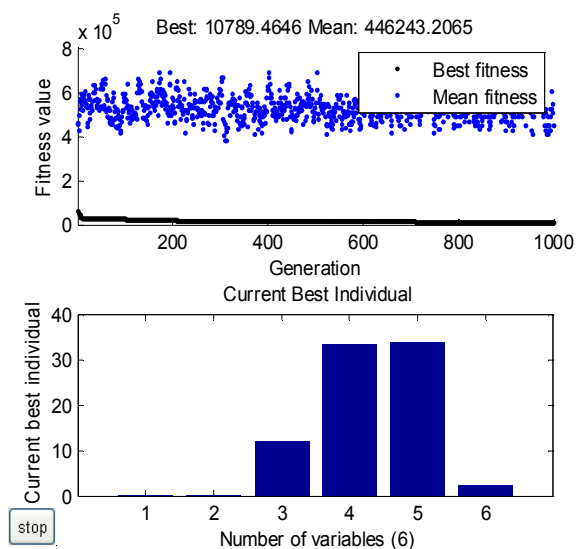


Рис.10. (до № 10) Пошук рішення для популяції з 50 особин

У результаті проведеного дослідження було виявлено, що генетичний алгоритм дає змогу:

- визначити кількості портів для комплектування комутаційної системи з мінімальною вартістю та задоволенням потреб усіх груп абонентів;
- виявити загальні принципи комплектування комутаційних вузлів портами – оптимальну вартість дає задіяння більшої кількості портів типів  $x_4$  і  $x_5$ . Порти  $x_1$  задіюються у мінімальній кількості, оскільки їх можливості надто обмежені.

У процесі дослідження були виявлені особливості поведінки генетичного алгоритму з різними наборами параметрів. Наприклад, використання популяції малого розміру (10 особин) призводить до періодичності змін значень кількості портів різних типів, що негативно впливає на пошук їх оптимальних кількостей (значення цільової функції менше  $11 \cdot 10^5$  не було досягнуто ні разу протягом 20 експериментів), хоча тенденції співвідношень кількості портів було видно.

Використання популяції з 20 особин покращило результат – оптимальне значення цільової функції було одержано на 890 поколінні.

Популяція з 30 особин дала оптимальні значення 10958 на 390 поколінні.

**Висновок.** Отже, при використанні ГА налагоджуваннями за умовчанням кращим вибором буде популяція з 30-50 особин. Стосовно кількості поколінь було виявлено, що вже на 800...1000 поколіннях ми одержуємо оптимальні результати. Подальша генерація поколінь не є доцільною.

Результати досліджень можуть використовуватись при розробленні систем модернізації надання телекомунікаційних послуг.

### Література

1. Локазюк В.М., Іванов О.В. Метод розрахунку окупності основних видів телекомунікаційних послуг для різних груп абонентів // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”. – 2006. – № 7 (19). – С. 180-184.

Надійшла 8.10.2006 р.

УДК 681.3.5

О.П. АДАМІВ

Тернопільський національний економічний університет

## РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА СТРУКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

*Проведено аналіз архітектурних рішень для навігації мобільного робота. На основі аналізу інформаційних потоків між функціональними частинами автономного мобільного робота запропоновано архітектуру інтелектуальної системи керування для складного неструктурованого динамічного середовища. Розроблено структуру програмного забезпечення системи та протокол взаємодії між підсистемами верхнього та нижнього рівня керування мобільним роботом.*

### Вступ

Мобільні роботи (МР) як універсальні технічні системи, що мають можливість виконувати механічні дії, являються одним із сучасних напрямків наукових досліджень в області робототехнічних комплексів. Актуальність визначається зростаючою потребою в мехатронних системах, що базуються на обчислювальних машинах та здатні працювати в динамічних середовищах з можливістю адаптації. Цей напрямок в основному орієнтується, як на промислово-кімнатне середовище, що створене людиною, так і на використання в неструктурованому зовнішньому середовищі, де широко використовуються наземні, літальні, космічні або підводні роботи. Особливо актуальним являється використання мобільних роботів в агресивному неструктурованому середовищі, де присутність людини являється небезпечним, обмеженим або неможливим, наприклад, після техногенних катастроф, пожерів чи терористичних актів.

### Огляд відомих архітектур керування мобільним роботом

На даний час існує багато архітектурних рішень для навігації МР в статичному (структурованому) середовищі. В таких системах виділяють три рівні керування: стратегічний, тактичний та виконавчий [1, 2, 3, 4]. Системи стратегічного та тактичного рівня вирішують задачі визначення перешкод в робочому середовищі МР та навігації. Виконавчий рівень вирішує задачі безпосереднього фізичного керування механічними пристроями, що здійснюють рух МР. Основною проблемою функціонування таких систем в екстремальних динамічних середовищах є необхідність приймати рішення при часових та обчислювальних обмеженнях. Однак при такій архітектурі керування виконавчий рівень не має достатньої інформації для прийняття рішення, а верхні рівні надто повільні, щоб прийняти вчасно таке рішення.

Також відомі рішення, що використовують для побудови архітектури мобільного робота декомпозицію на три функціональні елементи: система сприйняття, система планування діяльності та виконавча система [5, 6]. Така тривірнева архітектура базується на результатах емпіричного спостереження про те, що методи для керування мобільним роботом можна віднести до трьох чітких категорій: 1) реактивні методи керування, що приводять до відображення результатів сприйняття сенсорів безпосередньо на керування приводами без чи з невеликим зовнішнім впливом; 2) методи для виконання шаблонних послідовностей діяльності, яка екстенсивно залежить від внутрішнього стану апаратного забезпечення, причому пошуку оптимального рішення при цьому не проводиться; і 3) складні обчислювальні методи (відносно рівнів зміни навколишнього середовища) для прийняття оптимальних рішень, наприклад, планувальники руху. Однак таке архітектурне рішення має ряд недоліків. Зокрема в ньому не передбачено процесів оброблення сенсорної інформації, навчання та побудови локальної та глобальної карт середовища.

Аналіз різних архітектурних рішень побудови інтелектуальних систем керування мобільним роботом дозволив сформувати оптимальну конфігурацію для взаємозв'язку основних модулів МР для забезпечення навігації без зіткнення з перешкодами в динамічному неструктурованому середовищі.

### Вдосконалена архітектура інтелектуальної системи керування мобільним роботом

Більшість відомих архітектурних рішень інтелектуального керування МР мають відношення до статичного наперед відомого робочого середовища або, принаймні, мають окремі автономні рішення, що потрібно поєднувати для досягнення цілі при навігації МР в неструктурованому динамічному середовищі. З метою розроблення оптимальної архітектури було здійснено аналіз задач і потоків даних між ними [7], що виникають при русі МР в неструктурованому динамічному середовищі та запропоновано архітектуру інтелектуальної системи керування МР, що зображено на рис. 1. Вона базується на забезпеченні функціонування МР в неструктурованому динамічному середовищі та показує основні потоки даних в системі та взаємозв'язок елементів системи керування МР.

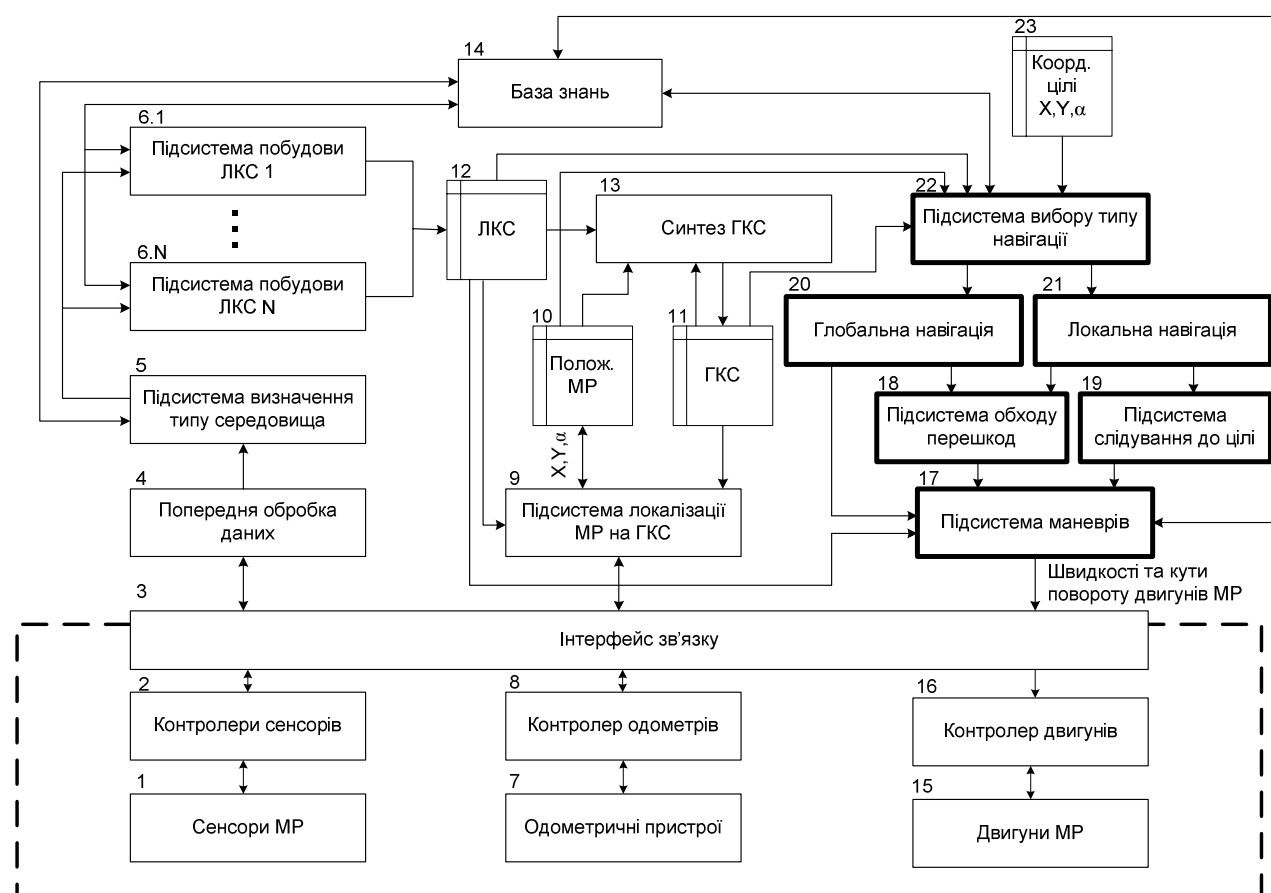


Рис. 1. Архітектура інтелектуальної системи керування мобільним роботом

Згідно запропонованої архітектури на початку руху робота визначаються координати цілі  $(X, Y, \alpha)$  (блок 23),  $X, Y$  - координати осей абсцис і ординат,  $\alpha$  – кут повороту відносно початкового положення робота. Підсистема вибору етапу навігації (блок 20) перевіряє наявність необхідних даних для початку слідування до цілі (глобальної карти середовища (ГКС) (блок 11), локальної карти середовища (ЛКС) (блок 12)) та встановлює початкове положення МР  $(0,0,0)$  (блок 10). При наявності ГКС навігація здійснюється одним із глобальних методів навігації, наприклад, Фронт Хвилі (Wave Front) [8] чи з допомогою дерева квадрантів [9]. У випадку відсутності синтезованої ГКС (наприклад, при задачі слідування до цілі в незнайомому середовищі)

остання генерується із відсутніми перешкодами, яка по мірі переміщення МР уточнюється. При відсутності ЛКС контролером сенсорів (блок 2) генеруються ініціалізуючі імпульси до сенсорів сприйняття середовища для отримання показів сенсорів. Отримані сенсорні покази передаються через інтерфейс зв'язку (блок 3) до блоку попередньої обробки даних (блок 4) для зменшення впливу завад та шумів, що підвищує точність та завадостійкість отриманих сенсорних показів.

У блоці 5 визначається тип середовища, в якому функціонує МР. Це пов'язано з тим, що різні типи сенсорів функціонують в певних середовищах (вакуум, термічних, лакофарбових, нафто-газових тощо) з великими похибками у вимірюванні. Тому на основі аналізу типу середовища визначається метод побудови ЛКС (блок 6.1. – 6.N) [10, 11], для якого визначаються конкретні типи сенсорів (ультразвукові, інфрачервоні чи відеосенсори), що будуть задіяні. Крім того, вибір типу середовища і методів побудови ЛКС забезпечуються взаємозв'язком із базою знань (блок 14), яка виконує функції прийняття правильного рішення і накопичення знань про оточуюче середовище. Побудована ЛКС записується в оперативну пам'ять (блок 12).

При відсутності ГКС в блоці 13 забезпечується синтез глобальної карти середовища на основі ЛКС. Також вхідною інформацією є побудована на попередньому кроці ГКС, що знаходиться в оперативній пам'яті (блок 11), ЛКС МР (блок 12) і положення МР (блок 10). Для синтезу ГКС може бути використаний алгоритм запропонований в [8], що вимагає мінімальної обчислювальної складності. Синтезована в блоці 13 ГКС записується в оперативну пам'ять (блок 11).

В блоці 22 визначається тип навігації для руху МР до цілі: глобальна чи локальна. Якщо ГКС відома  $(X_1, Y_1, \dots, X_N, Y_N)$  і відоме положення робота  ${}^R(X, Y, \alpha)$  та цілі  ${}^G(X, Y, \alpha)$ , причому  ${}^R(X, Y, \alpha) \in (X_1, Y_1, \dots, X_N, Y_N)$  і  ${}^G(X, Y, \alpha) \in (X_1, Y_1, \dots, X_N, Y_N)$ , то навігація МР відбувається з допомогою глобальних методів (блок 20), про що було згадано раніше. Якщо середовище в якому рухається МР є не достатньо структурованим, то виникає можливість появи перешкод, що не позначені на ГКС, а також є можливість появи динамічних перешкод. При цьому потрібно виконувати обхід перешкод (блок 18), наприклад використовуючи метод Wall Following.

Якщо  ${}^R(X, Y, \alpha) \notin (X_1, Y_1, \dots, X_N, Y_N)$  або  ${}^G(X, Y, \alpha) \notin (X_1, Y_1, \dots, X_N, Y_N)$ , то потрібно використовувати методи локальної навігації (блок 21), наприклад, метод потенційних полів [12], чи один із методів сімейства BUG [13].

Якщо відомо напрям траєкторії руху робота на кожному кроці при глобальній чи локальній навігації, потрібно використати підсистему маневрів (блок 17), що забезпечить поступальний рух МР. В залежності від вибраного напрямку руху в блоках 20, 18 чи 19 підсистема маневрів на основі ЛКС визначає оптимальний маневр, для забезпечення руху робота без зіткнення з перешкодами. Оцінка поточного стану МР та вибір бажаного маневру реалізується із використанням засобів штучного інтелекту (блок 14) для конкретизації маневрів, що буде здійснено та накопичення їх в базі знань блоку. При цьому буде сформовано значення кута повороту кермового пристрою, а при його відсутності швидкості та кути повороту управляючих двигунів МР. Контролер двигунів (блок 16) на основі прийнятих з допомогою інтерфейсу зв'язку (блок3) даних формує керуючі впливи на двигуни МР, що будуть задіяні у визначеному на попередньому етапі маневрі.

Під час переміщення МР, в блоці 7 відбувається вимірювання реальних параметрів руху МР, наприклад, за допомогою оптичних пар для контролю за рухом коліс чи відеоаналізаторів пройдені поверхні для встановлення пройдено реального шляху та швидкості переміщення. Сформовані реальні дані оброблені з допомогою контролера (блок 8) передаються через блок 3 до підсистеми локалізації МР на ГКС. Положення робота  ${}^L(X, Y, \alpha)$ , отримане на основі тільки одометричної системи дає тільки наближене значення координат на ГКС, в зв'язку з можливими похибками у вимірюванні та ситуаціями коли поверхня руху дозволяє проковзувати ведучим колесам МР. Для уточнення положення МР на ГКС  ${}^{Ri}(X, Y, \alpha)$  використовується ЛКС (блок 12), сформована ГКС (блок 11) та попереднє сформоване значення координат положення робота  ${}^{Ri-1}(X, Y, \alpha)$  та інформація отримана від блоку 8. Для проведення локалізації МР можна застосувати методи, що запропоновані в [14, 15]. Уточнене значення положення МР на ГКС  ${}^{Ri}(X, Y, \alpha)$  записуються в оперативну пам'ять (блок 10).

Згідно з запропонованою архітектурою керування всі функціональні блоки можна розділити на програмно-залежні та апаратно-залежні. Основними функціями апаратно залежних блоків є приймання команд, перетворення в управляючі сигнали та отримання даних від сенсорів. Алгоритми функціонування цих блоків є чітко визначеними на етапі виготовлення і не піддаються зміні. На програмному рівні вирішуються задачі побудови карти місцевості, навігації та локалізації МР, що піддаються модифікації та вдосконаленню. Тому важливо розглянути структуру програмного забезпечення МР як набір методів, алгоритмів та засобів комп'ютерної інженерії.

### Запропонована структура програмного забезпечення

Запропоновану структуру програмного забезпечення представлено на рис. 2.

Структура запропонованого програмного забезпечення системи (рис. 2) містить модуль диспетчера, який є ядром програмного забезпечення МР, працює невидимо для користувача і здійснює наступні системні функції: організацію взаємодії компонентів АМР, моніторинг процесів, розподіл процесорного часу між задачами тощо.

Модуль переривань забезпечує загальний контроль настання подій в часі, здійснює направлення подій до блоків, що реагують на них, таким чином забезпечуючи загальну синхронізацію виконання процедур МР.

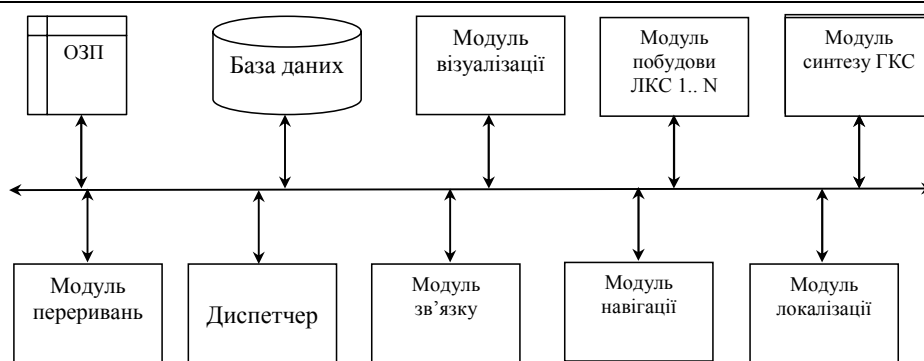


Рис. 2. Узагальнена структура програмного забезпечення системи керування МР

Модуль зв'язку забезпечує ввід/вивід даних до активаторів (двигунів, приводів маніпуляторів) і з сенсорами, використовуючи стандартні інтерфейси, наприклад RS232, USB чи FireWire. Крім того, для забезпечення зв'язку із зовнішнім середовищем МР, в модулі зв'язку може здійснюватись попередня обробка сенсорних даних для підвищення точності, завадостійкості, достовірності сенсорних показів, а також фільтрації різного роду шумів. При цьому прийом/передача керуючих та інформаційних команд здійснюється по перериванню, викликаному диспетчером, із використанням процесу буферизації та запису їх в оперативну пам'ять і в базу даних (БД). Такий підхід дозволяє знизити зайнятість процесора і забезпечити аналіз отриманих даних. В БД також зберігається інформація про команди АМР, локальна і глобальна карти середовища, інформація про положення МР. При цьому БД може бути використана для формування бази знань, що необхідна при інтелектуальному керуванні АМР. Наприклад, важливим при керуванні МР є аналіз збережених даних в БД для забезпечення можливості повернення робота у попередні положення в разі тупикових ситуацій, коли необхідно здійснити переміщення АМР у позицію, яку він займав на попередніх кроках переміщення, і вибору іншої траєкторії руху.

Модуль візуалізації забезпечує моніторинг функціональної активності МР на екрані дисплея. Такий режим є необхідним під час відлагодження основних процедур функціонування МР. В реальних умовах модуль моніторингу не використовується для підвищення загальної продуктивності обчислювальних засобів.

Модулі побудови ЛКС 1..N, синтезу ГКС, навігації та локалізації забезпечують виконання алгоритмів відповідно до етапу загального алгоритму керування МР. Для виконання таких алгоритмів виділяється процесорний час, який необхідний для їх роботи. Виконання кожного з алгоритмів завершується викликом переривання програми і звернення до диспетчера із повідомленням про кінець процедури виконання алгоритму. На основі переривань диспетчер визначає послідовність виконання процедур для функціонування МР, що ініціалізується новим перериванням.

### Протокол клієнт-серверної взаємодії

Комунікація між диспетчером і апаратно-залежною частиною МР здійснюється за принципом клієнт-сервер. Така організація комунікації зумовлена необхідністю розподілу обчислювальних потужностей між задачами низького рівня, наприклад, управління двигунами, сенсорами, формування даних від сенсорів та одометричних пристроїв, які можуть реалізовуватись на спеціалізованих засобах, і задачами верхнього рівня, що реалізуються на персональному комп'ютері на рівні програмного забезпечення. Взаємодія між серверною і клієнтською частиною забезпечується спеціалізованим протоколом обміну даних, що має визначену структуру (табл. 1), що є модифікацією протоколу, представленого в [16].

Таблиця 1

#### Структура пакету протоколу взаємодії між клієнтською і серверною частинами мобільного робота

Компонента	Байти	Значення	Опис
Заголовок	2	0xFA, 0xFB	Заголовок пакету, аналогічний як для сервера, так і для клієнта
Число байт, що передаються	1	N+2	Кількість байт даних, що передаються, включаючи контрольну суму (максимум 200 байт)
Дані	N	Команди	Команди клієнта, або інформація сервера
Контрольна сума	2	Розраховується	Контрольна сума пакету

У зв'язку із важливістю зменшення часу реакції МР на запити диспетчера, для забезпечення стійкого та безпечного переміщення МР в робочому середовищі, функціонування протоколів доцільно забезпечити у "безмовному" режимі, при якому сенсорна підсистема МР не дає підтвердження виконання команд клієнта, а також ігнорує будь-які пакети клієнта, в яких контрольна сума є некоректною або довжина даних перевищує 200 байт. Такий підхід забезпечує мінімальний час для оброблення пакетів взаємодії клієнт-сервер.

При передачі повідомлень від сервера до клієнта пакети поступають періодично з інформацією про

положення  $MP^R(X, Y, \alpha)$ , покази сенсорів, стан активаторів на іншого апаратного забезпечення. При цьому максимально можлива кількість даних рівна 200 байт (відповідає одному байту кількості даних, які передаються). Якщо необхідна більша кількість даних у протоколі взаємодії клієнт-сервер, доцільно передбачити більшу кількість байт для компоненти «число байт, що передаються» структури пакету протоколу. Наприклад, якщо використати протокол для передачі кольорового відеозображення від відеокамери із роздільною здатністю 640x480 пікселів, де кожен піксель представлений 3 байтами кольорів без застосування процедур компресії, необхідна кількість даних, які повинні передаватись одним пакетом через інтерфейс рівна 921600 байт. Для цього достатньо виділити 3 байти даних (відповідатиме максимум 16777216 байтам, які можна передати в одному пакеті) для компоненти «число байт, що передаються» структури пакету протоколу.

У випадку передачі повідомлень від клієнта до сервера структура команд в пакеті є чітко визначеною (табл. 2). З метою контролю наявності зв'язку між взаємодіючими сторонами протоколу клієнт-сервер у випадку відсутності команд керування MP, клієнт повинен періодично, наприклад кожні 3 секунди надсилати самоконтролюючий пакет із командою «PULSE» на сервер. Якщо керуючі команди клієнта або команди «PULSE» відсутні, робот автоматично зупиняє всі двигуни, які можуть відновити свою роботу лише після отримання пакету клієнта.

Таблиця 2

Структура пакету передачі команд від клієнта до сервера

Компонента	Байти	Значення	Опис
Заголовок	2	0xFA, 0xFB	Заголовок пакету, аналогічний як для сервера так і для клієнта
Число байт, що передаються	1	N+2	Кількість байт даних, що передаються, включаючи контрольну суму (максимум 200 байт)
Номер команди клієнта	1	0-255	Номер команди клієнта серверу
Тип аргументу (залеж. від типу команди)	1	0x3B 0x1B 0x2B	Тип аргументу команди: - позитивне ціле число; - негативне ціле число; - стрічка
Аргумент	N	Дані	аргумент команди
Контрольна сума	2	Розраховується	Контрольна сума пакету, розраховується при передачі пакету

<pre>function [Sonar, Count]=Get_Sonar_Readings(s); Sonar=[]; Sonar(1)=0; Count=[]; j=1; while length(Sonar)&lt;8    min(Sonar)==0     k=1;     while (k==1)         h=1;         read1=fread(s,3);         while (h==1)             if (read1(1) == 250) &amp;&amp; (read1(2) == 251) &amp;&amp;                 (read1(3)&gt;25)                 read2=fread(s,read1(3));                 h=2;             else                 read1(1)=read1(2);                 read1(2)=read1(3);                 read1(3)=fread(s,1);             end;         end;         for i=1:read1(3)-2             read3(i)=read2(i);         end;         [Sum_High,Sum_Low]=Check_Sum(read3);         if (Sum_High ~= read2(read1(3)-1)) &amp;&amp; (Sum_Low ~=             read2(read1(3)))             else k=2         end;     end;     if read3(20)&gt;0 &amp;&amp; read3(20)&lt;9         for k=21:3:(21+3*read3(20)-3)             High_byte=dec2bin(read3(k+2),8);             Low_byte=dec2bin(read3(k+1),8);             t_rez=[High_byte Low_byte];             z_rez=bin2dec(t_rez);             Sonar(read3(k)+1)=z_rez;             Count(j) = read3(k)+1;             j = j+1;         end;fwrite(s,High_byte);     end;</pre>	<pre>Function SendPacket(s,My_Byte) fwrite(s,hex2dec('FA')); fwrite(s,hex2dec('FB')); fwrite(s,length(My_Byte)+2); for i=1:length(My_Byte)     fwrite(s,My_Byte(i)); end [High_byte,Low_byte]=Check_Sum(My_Byte);  fwrite(s,High_byte); fwrite(s,Low_byte);</pre>
--	---

Рис. 4. Лістинги Matlab функцій, які забезпечують отримання даних та передачу управляючих команд для інформаційних пакетів згідно наведеного протоколу

### Застосування запропонованого підходу

Експериментальні дослідження були проведені з використанням платформи мобільного робота AmigoBot фірми ActivMedia Robotics [16, 17]. Даний робот є триколісним, обладнаним двома ведучими колесами, розміщеними на одній осі, і одним самоорієнтуючим колесом, розміщеним на задній частині робота, що обертається навколо своєї осі і є балансом опори робота. Платформа МР виготовлена із алюмінієвих пластин розміром 28см x 33см x 13см вагою 3,6 кг. Робот є достатньо маневреним (максимальна швидкість руху 1м/с, кут повороту коліс 300 градусів/с, є можливість повороту на 360 градусів на місці). Два приводні колеса діаметром 10,2 см приводяться в рух реверсивними 12 VDC двигунами. Для програмної реалізації і досліджень запропонованих структур з метою керування мобільним роботом, в якості програмного засобу використано пакет Matlab® v.6.5 Release 13, створений фірмою The MathWorks Inc., який є світовим стандартом в області наукових і технічних розрахунків [18]. Вибір пакету Matlab зумовлений його перевагами над іншими інженерними пакетами програм: можливістю модифікації Matlab для рішення нових технічних задач за рахунок розробок toolboxes; відкритою архітектурою, яка дозволяє користувачу забезпечувати повний доступ до кодів пакету за рахунок потужної мови програмування; можливістю конвертації коду процедур, написаних на мові Matlab на мови більш низького рівня, такі як C, C++ з метою підвищення швидкодії обробки даних. Реалізовані засобами Matlab лістинги функцій, які забезпечують отримання даних (наприклад, від ультразвукових сенсорів), передачу управляючих команд згідно наведеного протоколу представлені на рис. 4.

### Висновки

Таким чином, в даній статті шляхом аналізу інформаційних потоків між функціональними модулями робота та аналізу відомих архітектур керування мобільними роботами запропоновано вдосконалену архітектуру інтелектуальної системи керування, що дозволяє функціонувати МР в складному неструктурованому середовищі з можливістю появи динамічних перешкод. Також представлено розроблену структуру програмного забезпечення верхнього рівня керування мобільним роботом, що дозволяє адаптувати протокол взаємодії клієнт-сервер, на основі якого забезпечується отримання вхідних даних та передача управляючих команд для керування АМР.

### Подяки

Автор статті висловлює подяку Міністерству освіти і науки України в рамках спільного українсько-литовського проекту “Розробка методів та пристосувань для поліпшення навігації мобільного робота в неструктурованому середовищі” за підтримку, що дозволила отримати результати представлені в даній статті.

### Література

1. Головкин В.А. Нейроинтеллект: теория и применение. Книга 2: Самоорганизация, отказоустойчивость и применение нейронных сетей. Б.: Изд. БПИ, 1999. – 228 с.
2. Звенигородський О.С. Інтелектуальна система планування тактики руху автономного робота в квазістаціонарному середовищі: Дис... канд. техн. наук: 05.13.23. — Д., 2002. — 127с.
3. Юревич Е.И. Основы робототехники: Учебник для вузов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1985. – 271 с.
4. Техническое зрение роботов /В.И.Мошкин, А.А.Петров, В.С.Титов, Ю.Г. Якушенков/Под. ред. Ю.Г. Якушенкова. - М.: Машиностроение, 1990. – 272с.
5. Kortenkamp D., Bonasso R., Murphy R. Artificial Intelligence and mobile robots, Case Studies of Successful Robot Systems. AAAI Press/ The MIT Press, 1998. 400 p.
6. Omidvar O, van der Smagt P. Neural Systems For Robotics.- San Diego, Academic Press,1997. 346 p.
7. Koval V., Adamiv O., Proc. of the Third IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2005). – Sofia (Bulgaria). – 2005. – P. 120-124.
8. Konolige K. A gradient method for real-time robot control// IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2000.
9. Vörös, J. (). Low-cost implementation of distance maps for path planning using matrix quadrees and octrees // Robotics and Computer Integrated Manufacturing. -2001, Vol. 17.- pp. 447-459.
10. Коваль В.С. Злиття структурованого світла і відео зображення для управління мобільним роботом // Искусственный интеллект. - 2004. №1. - С. 52-59.
11. Joris van Dam Environment Modeling for Mobile Robots: Neural Learning for Sensor Fusion. – University van Amsterdam. Met lit. opg., 1998.- 225 p.
12. Tews, A., Wyeth, G.: Thinking as one: Coordination of multiple mobile robots by shared representations.// Proc. International Conference on Robotics and Systems (IROS).- 2000.-P. 1391—1396.
13. Graf B., Hostalet Wandosell J. M. Flexible Path Planning for Nonholonomic Mobile Robots // Proc. of The fourth European workshop on advanced mobile robots (EUROBOT'01). Lund, (Sweden). 2001.- P.199-206.
14. , Fox D., Burgard W. Thrun S. Markov Localization for Mobile Robots in Dynamic Environments // Journal of Artificial Intelligence Research .1999. #11.P. 391-427.
15. Bailey T. Mobile Robot Localisation and Mapping in Extensive Outdoor Environments: A thesis submitted



in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, The University of Sydney, 2002.-212p.

16. Team AmigoBot-SH Operations Manual, ActivMedia Robotics, LLC, 2005 – 53p.

17. www.mobilerobots.com

18. Дьяконов В., Круглов В. Matlab. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер. – 2002. – 448 с.

Надійшла 6.10.2006 р.

УДК 519.246

О.А. ПАСТУХ

Тернопільська філія Європейського університету

**ЧАСТКОВА МАТЕМАТИЧНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ  
КВАНТОВИХ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
КВАНТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ  
(КВАНТОВИХ КОМП'ЮТЕРІВ) В РАМКАХ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
КВАНТОВИХ НЕЧІТКИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ –  
МНОЖИНИ  $\Psi$  - КВАНТОВИХ НЕЧІТКИХ СЛІВ АЛФАВІТУ  $\{0,1\}$   
ТА УНАРНИХ ОПЕРАЦІЙ ЗАДАНИХ НА ЕЛЕМЕНТАХ  $\Psi$**

*На основі вперше введених понять – множини  $\Psi$ -квантових нечітких слів алфавіту  $U$ , унарної операції на елементах множини  $\Psi$ ; розглянуто частковий математичний опис роботи квантових логічних елементів квантових інформаційно-обчислювальних систем (квантового комп'ютера) в рамках алгебраїчних конструкцій квантових нечітких слів.*

**Вступ.** При побудові різного роду класичних інформаційно-обчислювальних систем (ІОС) важливе місце займає математичний опис їх найпростіших елементів – логічних елементів. Це обумовлено тим, що математична модель довільного алгоритму обробки даних класичною ІОС в кінцевому випадку представляється у вигляді певної зв'язаної ієрархічної структури математичних моделей елементарних логічних елементів, на основі якої вже реалізується безпосередньо сама класична ІОС.

Підвищення ефективності застосування вище наведеної методики проектування саме для сучасних ІОС, наприклад, квантових інформаційно-обчислювальних систем (квантових ІОС), потребує розробки математичних моделей для опису роботи принципово нових логічних елементів на яких базуються квантові ІОС, при чому особливо є важливим те, щоб нові математичні моделі були логічно типовими до існуючих моделей.

**Огляд існуючих відомостей.** Оскільки основним призначенням ІОС є реалізація різного роду обчислювальних процесів, які можуть бути розкладеними на елементарні обчислення, то природно, що їх математичним описом є загально алгебраїчні моделі.

Це і не дивно, саме загальна алгебра займається вивченням загальних властивостей різних операцій.

Добре відомо [1], що математичним описом роботи логічних елементів класичних ІОС є різного роду алгебраїчні конструкції, наприклад, булева алгебра.

Поряд з класичними ІОС широкого прикладного застосування набули нечіткі ІОС, які реалізують різного роду "м'які" обчислювальні процеси [2, 3]. Математичний опис нечітких логічних елементів нечітких ІОС не може бути реалізований на основі алгебраїчних конструкцій канторових (чітких) множин, наприклад, булевій алгебрі канторових (чітких) множин. Для їх опису використовуються алгебраїчні конструкції, що базуються на нечітких множинах Л.Заде і операціях над ними, тобто булевих алгебрах нечітких множин.

Останнім часом [4, 5, 6, 7], все більша увага вчених приділяється квантовим ІОС, які можуть реалізувати різного роду квантові обчислювальні процеси. По аналогії з класичними ІОС та нечіткими ІОС природно виникає питання чи можливий математичний опис квантових логічних елементів квантових ІОС в рамках алгебраїчних конструкцій логічно типових раніше наведеним.

**Мета.** Оскільки розробка математичної моделі опису роботи квантових логічних елементів квантової ІОС у вигляді тої чи іншої алгебраїчної конструкції по аналогії з булевими алгебрами, що описують роботу логічних елементів, класичних ІОС та булевими алгебрами, що описують роботу нечітких логічних елементів нечітких ІОС, є досить складним завданням, то в даній роботі ставиться наступна мета. В рамках загально алгебраїчного підходу розглянути можливі окремі складові квантових нечітких алгебраїчних конструкцій – носій та унарні операції для квантових логічних елементів квантових ІОС.

**Основна частина.** Класичні ІОС довільної складності можуть бути побудовані на елементах найпростішої будови, наприклад, елементні "НЕ-І" (рис.1), який має два входи, математичний опис  $x$ ,  $y$  та один вихід, математичний опис  $f(x, y)$  – функція від двох входів.

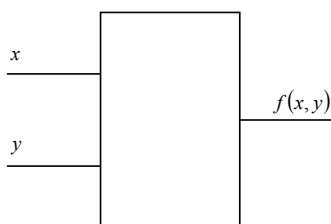


Рис. 1. Схематичне зображення елемента "НЕ-І"

Математична формалізація роботи елемента "НЕ-І" базується на таких математичних об'єктах, як булева змінна, булева функція (табл. 1).

Таблиця 1

**Представлення булевих змінних  $x, y$  та булевої функції  $f(x, y)$  елемента "НЕ-І"**

$x$	$y$	$f(x, y)$
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

Булева змінна  $x$  чи  $y$ , а також булева функція  $f(x, y)$  можуть приймати значення з множини  $\Omega = \{0,1\}$ . При побудові класичних ІОС логічний елемент "НЕ-І" використовується для фізичної реалізації не лише бінарних операцій, але і унарної операції інверсії " $\neg$ ", яка може бути представлена наступним чином (табл.2).

Таблиця 2

**Унарна операція інверсія в класичних ІОС**

$x$	$f(x) = \neg x$
0	1
1	0

Загалом, побудова сучасних ІОС не задовольняється математичним описом роботи логічних елементів в рамках множини алфавіту  $\Omega = \{0,1\}$ , а потребує розгляду множини  $\Theta$ -слів над алфавітом  $\Omega$ , елементи якої однозначно представляються своїми характеристичними (індикаторними) функціями виду  $\mu : \Theta \rightarrow \{0,1\}$ .

Як було зазначено раніше, поряд з класичними ІОС, широке прикладне застосування набули і нечіткі ІОС. Математичний опис роботи нечітких логічних елементів нечітких ІОС в рамках булевих конструкцій може бути здійснений на основі розгляду множини  $\Xi$ -нечітких слів над алфавітом  $\Omega = \{0,1\}$ , які представляються своїми характеристичними функціями  $\mu : \Xi \rightarrow [0,1]$ .

Однією з принципових відмінностей між логічними елементами класичних ІОС та нечіткими логічними елементами нечітких ІОС є існування певної сукупності унарних операцій над елементами множини  $\Xi$ -нечітких слів, в той час, коли для елементів множини  $\Theta$ -слів існує лише одна унарна операція – інверсія. Для наглядності зручно розглянути приклади унарних операцій над елементами множини  $\Xi$ -нечітких слів. Першим прикладом може бути збільшення кількості терм-множин – елементів множини  $\Xi$ -нечітких слів лінгвістичної змінної за рахунок введених Л.Заде модифікаторів, сукупність яких загалом може бути континуальною множиною, як операторів над характеристичними функціями базових терм-множин. Другим прикладом може бути таж операція інверсія, нехай  $\Xi_1$  – це нечітке слово з множини  $\Xi$ -нечітких слів з характеристичною функцією  $\mu_{\Xi_1}$ , тоді характеристична функція  $\mu_{\Xi_2}$  нечіткого слова  $\Xi_2 = f(\Xi_1) = \neg \Xi_1$  має вид  $\mu_{\Xi_2} = 1 - \mu_{\Xi_1}$ , наприклад, як наведено в табл.3.

Таблиця 3

**Унарна операція інверсія в нечітких ІОС**

$\Xi_1$	$\Xi_2 = f(\Xi_1) = \neg \Xi_1$
$\mu_{\Xi_1}(0) = \frac{3}{4}$	$\mu_{\Xi_2}(0) = \frac{1}{4}$
$\mu_{\Xi_1}(1) = \frac{1}{4}$	$\mu_{\Xi_2}(1) = \frac{3}{4}$

Для того, щоб було можливим в рамках алгебраїчних конструкцій, аналогічно класичним та нечітким ІОС, здійснювати математичний опис роботи квантових логічних елементів (gates) квантових ІОС (квантового комп'ютера), необхідно розглянути означення математичного об'єкта – квантової нечіткої підмножини, який вперше розглянутий в роботі [8].

**Означення.** Нехай  $U$  – деяка універсальна множина елементів  $u$ ,  $\mu_{U_1}: U \rightarrow \{z: |z| \leq 1, z \in C\}$ ,  $C$  – множина комплексних чисел. Квантовою нечіткою підмножиною  $U_1$  в  $U$  називається множина виду  $\{\langle u, \mu_{U_1}(u) \rangle: u \in U\}$ , при чому  $\mu_{U_1}(u)$  – комплексно значна характеристична (індикаторна) функція, що визначає степінь належності  $u$  до  $U_1$ .

Введення даного математичного об'єкта дає можливість за допомогою методу традукції будувати окремі елементи квантових нечітких алгебраїчних конструкцій.

Розглянемо випадок, коли універсальною множиною  $U$  є алфавіт  $\Omega = \{0,1\}$ , тоді сукупність квантових нечітких підмножин універсальної множини  $U$  утворюють множину  $\Psi$  – квантових нечітких слів над алфавітом  $\Omega = \{0,1\}$ . По традукції, узагальнюючи вище наведені твердження, можна формалізувати у вигляді означення.

**Означення.** Множиною  $\Psi$  – квантових нечітких слів над алфавітом  $U$  називається сукупність квантових нечітких підмножин множини (алфавіту)  $U$ .

Введеного поняття – множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів загалом над алфавітом  $U$  недостатньо, щоб здійснювати математичний опис роботи квантових логічних елементів, наприклад, квантового комп'ютера, а загалом квантових ІОС.

Для часткового математичного опису роботи квантових логічних елементів квантових ІОС, необхідно означити унарну операцію на елементах множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів алфавіту  $U$ . Слушно відмітити, що на відміну класичним ІОС і аналогічно нечітким ІОС для квантових ІОС існує не одноелементна множина унарних операцій.

**Означення.** Унарною операцією на елементах множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів алфавіту  $U$  називається однозначне відображення  $\Psi \rightarrow \Psi$ .

На основі вище введених понять – множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів алфавіту  $U$  та унарних операцій заданих на елементах  $\Psi$ , можна здійснювати математичний опис роботи квантових логічних елементів квантових ІОС (квантового комп'ютера) в рамках квантових нечітких алгебраїчних конструкцій, що є логічно типовим до вище наведених алгебраїчних описів логічних елементів класичних і нечітких ІОС.

Такий підхід дає можливість застосовувати добре відомі методики проектування класичних та нечітких ІОС для проектування квантових ІОС.

Для наглядності і конкретизації вище наведеного матеріалу розглянемо його застосування на прикладах, коли алфавіт  $U$  є множиною  $U = \{|0\rangle, |1\rangle\}$ , а  $\Psi$  є множиною  $\Psi$  – квантових нечітких слів.

Приклад 1.

Нехай  $\Psi_1$  – це квантове нечітке слово з множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів виду  $\Psi_1 = \{1/|0\rangle, 0/|1\rangle\}$ .

Якщо виконати над  $\Psi_1$  унарну операцію Адамара  $H$ , то отримається квантове нечітке слово

$$\Psi_2 = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}/|0\rangle, \frac{1}{\sqrt{2}}/|1\rangle \right\}.$$

Приклад 2.

Нехай  $\Psi_3$  – це квантове нечітке слово з множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів виду  $\Psi_3 = \{0/|0\rangle, 1/|1\rangle\}$ .

Якщо виконати над  $\Psi_3$  унарну операцію Адамара  $H$ , то отримається квантове нечітке слово

$$\Psi_4 = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}/|0\rangle, -\frac{1}{\sqrt{2}}/|1\rangle \right\}.$$

Приклад 3.

Нехай  $\Psi_5$  – це квантове нечітке слово з множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів виду

$\Psi_5 = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}/|0\rangle, \frac{1}{\sqrt{2}}/|1\rangle \right\}$ . Якщо виконати над  $\Psi_5$  унарну операцію Адамара  $H$ , то отримається квантове

нечітке слово  $\Psi_6 = \{1/|0\rangle, 0/|1\rangle\}$ .

Приклад 4.

Нехай  $\Psi_7$  – це квантове нечітке слово з множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів виду

$\Psi_7 = \{1/|0\rangle, 0/|1\rangle\}$ . Якщо виконати над  $\Psi_7$  унарну операцію обертання фази  $\Phi$ , то отримається квантове

нечітке слово  $\Psi_8 = \{e^{i\varphi}|0\rangle, 0|1\rangle\}$ .

Приклад 5.

Нехай  $\Psi_9$  – це квантове нечітке слово з множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів виду  $\Psi_9 = \{0|0\rangle, 1|1\rangle\}$ .

Якщо виконати над  $\Psi_9$  унарну операцію обертання фази  $\Phi$ , то отримається квантове нечітке слово  $\Psi_{10} = \{0|0\rangle, 1|1\rangle\}$ .

Приклад 6.

Нехай  $\Psi_{11}$  – це квантове нечітке слово з множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів виду  $\Psi_{11} = \{1|0\rangle, 0|1\rangle\}$ . Якщо виконати над  $\Psi_{11}$  унарну операцію Адамара – обертання фази – Адамара НФН, то отримається квантове нечітке слово  $\Psi_8 = \left\{ \frac{1}{2}(e^{i\varphi} + 1)|0\rangle, \frac{1}{2}(e^{i\varphi} - 1)|1\rangle \right\}$ .

**Висновки.** Введені поняття: множина  $\Psi$  – квантових нечітких слів алфавіту  $U$  та унарна операція на елементах множини  $\Psi$  – квантових нечітких слів, які дають можливість частково математично описати роботу квантових логічних елементів квантових ІОС в рамках алгебраїчних конструкцій. Така логічна типовість з математичними описами, у вигляді алгебраїчних конструкцій, роботи логічних елементів класичних та нечітких ІОС відкриває перспективи застосування добре відомих методик проектування ІОС для проектування квантових ІОС.

### Література

1. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. – СПб.: Питер, 2000. – 304 с.
2. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control, 1965, v.8, p. 336-353.
3. Рьжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений. – М.: МГУ, 2003. – 81 с.
4. Китаев А., Шень А., Вялый М. Классические и квантовые вычисления. – М.: МПНМО, ЧеРо, 1999. – 192 с.
5. Стин. Квантовые вычисления. – И.: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2000. – 100 с.
6. Валив К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. – И.: РХД, 2001. – 352 с.
7. Кокин А.А. Твердотельные ядерные магнито-резонансные (ЯМР) ансамблевые квантовые компьютеры (исследование физических основ и проблем реализации): Дисс.... докт. физ. – мат. наук: 05.27.01. – М., 2003. – 187 с.
8. Пастух О.А.. Квантові нечіткі множини з комплекснозначною характеристичною функцією і їх використання для квантового комп'ютера // Вісник Хмельницького національного у-ту. – 2006. – Т.1. – № 2. – С. 158-161.

Надійшла 16.10.2006 р.

УДК 004.31, 004.056.55, 003.26

М.П. КАРПІНСЬКИЙ, Л.М. КОРКІШКО

Університет в Бельську-Бялій, Польща  
Тернопільський державний економічний університет

## УЗАГАЛЬНЕНИЙ АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ ПІДСТАНОВКИ НАД ДАНИМИ У МАСКОВАНОМУ ПОДАННІ

*Запропоновано узагальнений алгоритм виконання операції підстановки над даними у маскованому поданні. Операція підстановки здійснюється за допомогою способу заміни маски, який володіє малою часовою та місткістю складності.*

### Вступ

Масковане подання даних широко застосовується для побудови комп'ютерних засобів захисту інформації [1 – 3]. Його особливістю є подання даних у вигляді пари значень – маска та масковане дане. Масками застосовують випадкові незалежні числа з рівномірним законом розподілу ймовірностей. Для маскування даних використовують операції, виконання яких призводить до утворення результату, який має аналогічний до маски розподіл ймовірностей.

Задача виконання операцій над маскованими даними полягає у виконанні необхідних операцій над даними без розголошення самих даних. При цьому, результат виконання операцій також повинен бути у маскованому поданні. Обробка даних у маскованому поданні дозволяє уникнути успішного проведення атак за побічними каналами витоку інформації, наприклад, за допомогою атаки диференційного аналізу споживаної потужності (ДАСП) [4, 5].

Складність маніпулювання маскованими даними полягає саме у задоволенні вимоги забезпечення нерозголошення немаскованих даних. При виконанні перетворень маскованих даних, які є лінійними відносно операції маскуванню, масковані дані перетворюють без будь-якого модифікування. Для обчислення результуючої маски необхідно виконати таке ж перетворення над маскою даних. Приміром, якщо для маскуванню даних використовується операція додавання за модулем 2, а для перетворення маскованих даних застосовується операція модульного множення на константу у полі, де згадана операція виконує роль адитивної операції, то операція модульного множення є лінійною відносно операції додавання за модулем 2. Тому, для обчислення маски результату необхідно виконати аналогічне множення на константу маски даних.

При використанні нелінійних перетворень маскованих даних описаний підхід не застосовується, оскільки задачі обчислення маски результату притаманна висока складність. Наприклад, якщо для маскуванню даних використовується операція додавання за модулем 2, а для перетворення маскованих даних застосовується операція модульного інвертування даних у заданому полі чи операція заміни, то ці дві операції є нелінійними відносно операції додавання за модулем 2.

У таких випадках застосовують алгоритми перетворень, які враховують алгебраїчні властивості операції маскуванню та самого нелінійного перетворення. Інші шляхи виконання нелінійних перетворень полягають у проведенні попередніх обчислень з використанням усіх можливих масок з подальшим збереженням результатів та їх використанням для маскованих обчислень. Приклади таких алгоритмів наведені в [6 – 9]. До основних недоліків згаданих алгоритмів належать високі часова та місткісна складності їх виконання [10].

Тому у даній роботі розв'язується актуальна задача створення узагальненого алгоритму для виконання операції підстановки над маскованими даними, яка є нелінійною операцією відносно операцій маскуванню даних, які використовують на практиці. Запропонований алгоритм можна застосувати для побудови комп'ютерних засобів, які виконують обчислення над даними у маскованому поданні. Беручи до уваги те, що у запропонованому алгоритмі не використовується інформація про немасковані дані, то побудовані з його застосуванням обчислювальні пристрої будуть стійкими до атак за побічними каналами витoku інформації, зокрема до атак ДАСП.

### 1. Операції підстановки у криптографічних перетвореннях

Операції підстановки блоку чи його частин широко використовуються у криптографічних перетвореннях і часто є основним засобом реалізації нелінійних операцій над даними та ключами у алгоритмах симетричного блокового шифрування [11]. Для розгляду операції підстановки блоку чи його частин прийемо:

- $m_1$  – розмір вхідного вектора-аргументу операції підстановки блоку чи його частин, біт;
- $m_2$  – розмір вектора-результату виконання операції підстановки блоку чи його частин, біт.

Підстановку значень вхідного блоку чи його частин на нові значення виконують із використанням таблиць підстановок. Таблиця підстановок містить набір векторів підстановок  $s_i$ ,  $0 \leq i \leq t-1$ , кількість яких  $t$  залежить від кількості частин блоку, що підставляються. Вектор підстановок, відповідно, складається із вузлів підстановок  $v^i_j$ ,  $0 \leq i \leq t-1$ ,  $0 \leq j \leq l-1$ , де  $l$  – кількість вузлів підстановок (рис. 1).

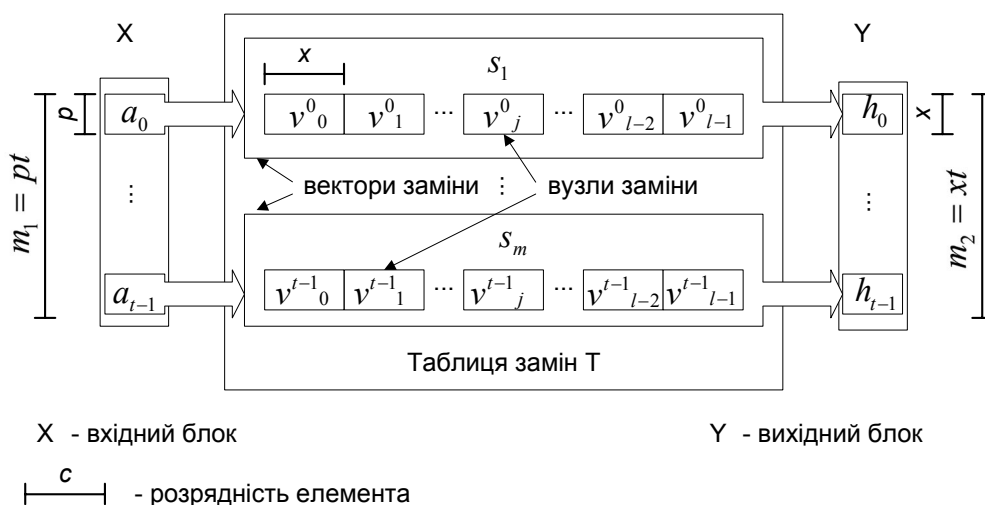


Рис. 1. Підстановка частин блоку за таблицею

Вхідний блок розміром  $m_1$  бітів розбивають на  $t$  підблоків  $a_i$  розміром  $p$  бітів, так що  $m_1 = pt$ . Вихідний блок складається із  $t$  підблоків  $h_i$  розміром  $x$  бітів. Підстановці підлягає кожен підблок  $a_i$ . Суть процесу підстановки полягає в інтерпретації підблоків  $a_i$  цілими числами та виборі відповідного вузла

підстановки, номер якого збігається зі значенням, що містить підблок. Кількість вузлів підстановки обчислюють за формулою  $l = \log_2 p$ . Зазначимо, що вузол підстановки може мати іншу розрядність, ніж замінюваний підблок, тобто  $x \neq p$ . Тоді розміри вхідного та вихідного блоків не збігатимуться.

Для побудови алгоритмів симетричного блокового шифрування використовують як фіксовані (наприклад, [12, 13]), так і довільно визначені вузли таблиці підстановок (приміром, [14]). Фіксовані вузли підстановок визначені в описі алгоритму, а довільно визначені вузли задають чи обчислюють перед початком обробки даних. Розмірності  $x$  і  $p$  знаходяться у межах 2-8 бітів.

Додатковим застосуванням табличних обчислень є реалізація на їх основі інших елементарних операцій, наприклад, операцій модульної арифметики [15].

## 2. Операція підстановки над маскованими даними

Нехай задано:

- множину  $Z_n = \{0, \dots, n-1\}$  цілих чисел, наділену бінарними операціями “ $\circ$ ” та “ $\bullet$ ”, які утворюють групи  $G_\circ$  та  $G_\bullet$  відповідно;

- функцію  $f(a)$ ,  $a \in Z_n$ , задану табличним способом для усіх  $a \in Z_n$  за допомогою таблиці  $f(a) = T[a]$ ; функція  $f(a)$  визначає вузли заміни у векторі заміни;

- числа  $x$  (маска аргументу),  $y$  (проміжна маска),  $z$  (маска результату), які є незалежними випадковими числами з рівномірними законами розподілу ймовірностей, причому  $x, y, z \in Z_n$ .

Сформулюємо задачу обчислення функції  $f(a)$  з використанням маскованого аргументу, маски та отриманого маскованого результату: обчислити  $\tilde{f}(a) = f(a) \bullet z$  з використанням лише  $\tilde{a} = a \circ x$ ,  $x$ ,  $z$ ,  $T[a]$ , таким чином, щоб надати порушнику мінімум інформації про відкритий аргумент  $a$ .

Для розв'язання сформульованої задачі скористаємося двома процедурами: підготовчою та основною. Підготовча процедура виконується кожного разу при зміні  $y$  або  $z$ . Результатом її виконання є модифікована таблиця заміни  $T'$  з властивістю  $T'[b \circ y] = T[b] \bullet z$ .

Підготовча процедура:

Вхід:  $T[a]$ ,  $y$  і  $z$ .

Вихід: таблиця  $T'$  з властивістю  $T'[b \circ y] = T[b] \bullet z$ .

1) Для усіх  $i \in Z_n$ , обраних випадково з  $Z_n$ , обчислити  $T'[i] = T[i \circ y] \bullet z$ .

2) Видати  $T'$ .

Основна процедура призначена для обчислення  $\tilde{f}(a) = f(a) \bullet z$  з використанням результатів підготовчої процедури, маскованих вхідних даних  $\tilde{a} = a \circ x$  і масок  $x$ ,  $y$ .

Основна процедура:

Вхід: таблиця  $T'$  з властивістю  $T'[b \circ y] = T[b] \bullet z$ ,  $\tilde{a} = a \circ x$ ,  $x$ ,  $y$ .

Вихід:  $\tilde{f}(a) = T[a] \bullet z$ .

1) Обчислити  $\tilde{b}_1 = \tilde{a} \circ y$ .

2) Обчислити  $\tilde{b}_2 = \tilde{b}_1 \circ x^{-1}$ , де  $x^{-1}$  – обернений елемент до  $x$ .

3) Обчислити  $\tilde{f}(a) = T'[\tilde{b}_2] = T[a] \bullet z$ .

4) Повернути  $\tilde{f}(a)$ .

Підкреслимо, що в основній процедурі є важливою послідовність виконання першого та другого кроків, тобто кроків модифікування маски вхідних даних. Якщо виконати послідовність цих кроків у зворотному порядку, то на першому кроці основної процедури  $\tilde{b}_1 = \tilde{a} \circ x^{-1} = a \circ x \circ x^{-1} = a$ , що створює передумови для успішної атаки ДАСП.

При реалізації криптографічних перетворень для маскування даних використовують  $n = p^l$ , де  $p$  – просте число (загалом дорівнює двом),  $l$  – натуральне ціле число; операції побітового додавання двійкових подань аргументів за модулем 2 (так зване “логічне маскування”) і додавання двійкових подань аргументів за модулем  $n$  (так зване “арифметичне маскування”) чи віднімання за модулем  $n$ . Операції модульного множення не використовують внаслідок загрози проведення спеціального виду атак ДАСП – так званих “нуль-атак” [16].

Наведені процедури дозволяють використовувати довільні комбінування перелічених операцій для маскування вхідних та вихідних даних. Розглянемо особливості різних комбінації операцій маскування на

прикладі операцій підстановки маскованих даних, де маскування має на меті захист від атак ДАСП першого порядку і полягає у використанні лише однієї маски. Тому вхідні дані будуть подані у вигляді пари  $\{\tilde{a}, x\}$ , а вихідні – у вигляді  $\{\tilde{f}(a), z\}$ .

### 3. Практичні аспекти використання операції підстановки над маскованими даними

#### 3.1 Однотипні операції маскування вхідних і вихідних даних

При “логічному маскуванні” вхідні та вихідні дані подаються парами  $\{\tilde{a} = a \oplus x, x\}$ ,  $\{\tilde{f}(a) = f(a) \oplus z, z\}$ , відповідно. Тут операції додавання “ $\circ$ ” та “ $\bullet$ ” є однаковими (додавання за модулем 2) та позначені символом “ $\oplus$ ”.

Виконання підготовчої процедури полягає у маскуванні даних таблиці  $T$  з подальшим впорядкуванням маскованої таблиці  $T'$  згідно з перестановкою, яка задається проміжною маскою  $y$  та операцією “ $\oplus$ ”. Кількість перестановок, яка задається проміжною маскою  $y$ , дорівнює  $n$ . Для операції “ $\oplus$ ” характер перевпорядкування маскованої таблиці визначається кількістю і розташуванням одиниць у масці. При цьому, одиниця у деякому розряді маски означає необхідність перестановки частин таблиці  $T'$  між собою. Наприклад, якщо старший розряд маски дорівнює одиниці, то таблицю необхідно розділити навпіл і переставити ці частини місцями.

При виконанні основної процедури на першому кроці здійснюється модифікування маски вхідних даних:  $\tilde{b}_1 = \tilde{a} \oplus y = a \oplus x \oplus y$ . Наступний крок потребує знаходження оберненого елемента  $x^{-1}$  для усунення маски  $x$ . Оскільки у групі  $G_{\oplus}$  нейтральним елементом є 0 (нуль), то з рівності  $x^{-1} \oplus x = 0$  і властивостей операції додавання за модулем 2 отримуємо, що  $x^{-1} = x$ . Таким чином, другий крок основної процедури встановлює таке значення маски вхідних даних  $y$ :  $\tilde{b}_2 = \tilde{b}_1 \oplus x = a \oplus x \oplus y \oplus x = a \oplus y$ . На третьому кроці основної процедури здійснюється підстановка  $\tilde{b}_2$  на відповідний вузол заміни з таблиці  $T'$ . Оскільки  $\tilde{b}_2$  є маскованим з маскою  $y$  і таблиця  $T'$  була відповідно сформована при виконанні підготовчої процедури з використанням тієї ж маски, то  $\tilde{f}(a) = T'[\tilde{b}_2] = T'[a \oplus y] = T[a] \oplus z$ .

При “арифметичному маскуванні” вхідні та вихідні дані подаються парами  $\{\tilde{a} = a + x, x\}$ ,  $\{\tilde{f}(a) = f(a) + z, z\}$ , відповідно. Тут операції додавання “ $\circ$ ” і “ $\bullet$ ” є однаковими (додавання за модулем  $n$ ) і позначені символом “ $+$ ”.

Виконання підготовчої процедури полягає у маскуванні даних таблиці  $T$  з наступним впорядкуванням маскованої таблиці  $T'$  згідно з перестановкою, яка задається проміжною маскою  $y$  та операцією “ $+$ ”. Для операції “ $+$ ” характер перевпорядкування маскованої таблиці визначається числовим значенням проміжної маски  $y$ : дані у таблиці циклічно зсуваються в бік старших адрес на числове значення проміжної маски  $y$ . Наприклад, для  $y = 3$  усі дані у таблиці  $T'$  циклічно зсуваються в бік старших адрес на 3 позиції.

На першому кроці основної процедури здійснюється модифікування маски вхідних даних:  $\tilde{b}_1 = \tilde{a} + y = a + x + y$ . Другий крок процедури вимагає оберненого елемента  $x^{-1}$  для усунення маски  $x$ . Оскільки у групі  $G_+$  нейтральним елементом є 0 (нуль), то з рівності  $x^{-1} + x = 0$  отримуємо, що  $x^{-1} = -x$ . Для обчислення  $x^{-1}$  можна скористатися операцією віднімання за модулем  $n$ . Таким чином, другий крок основної процедури встановлює таке значення маски вхідних даних  $y$ :  $\tilde{b}_2 = \tilde{b}_1 + x = a + x + y + (-x) = a + y$ . На третьому кроці основного алгоритму здійснюється заміна  $\tilde{b}_2$  на відповідний елемент таблиці  $T'$ . Оскільки  $\tilde{b}_2$  є маскованим з маскою  $y$  і таблиця  $T'$  була відповідно сформована при виконанні підготовчої процедури з використанням тієї ж маски, то  $\tilde{f}(a) = T'[\tilde{b}_2] = T'[a + y] = T[a] + z$ .

Зауважимо, що для маскування даних можна використовувати операцію віднімання за модулем  $n$  з відповідним модифікуванням процесу виконання підготовчої та основної процедур алгоритму.

#### 3.2 Різномітні операції маскування вхідних і вихідних даних

При використанні “логічного маскування” вхідних даних та “арифметичного маскування” вихідних даних, вхідні та вихідні дані подаються у вигляді пар  $\{\tilde{a} = a \oplus x, x\}$ ,  $\{\tilde{f}(a) = f(a) + z, z\}$  відповідно. Тут операції додавання “ $\circ$ ” і “ $\bullet$ ” є різними. У підготовчій процедурі використовується операція “ $+$ ” для маскування даних таблиці і операція “ $\oplus$ ” для визначення закону перевпорядкування. Основна процедура володіє тими ж особливостями, що й основна процедура для “логічного маскування” вхідних і вихідних даних.

При використанні “арифметичного маскування” вхідних даних і “логічного маскування” вихідних даних, вхідні та вихідні дані подаються парами  $\{\tilde{a} = a + x, x\}$ ,  $\{\tilde{f}(a) = f(a) \oplus z, z\}$  відповідно. Тут операції додавання “+” і “•” є різними, а у підготовчій процедурі використовується операція “ $\oplus$ ” для маскування даних таблиці та операція “+” для визначення закону перепорядкування. Основна процедура має ті ж особливості, що й основна процедура для “арифметичного маскування” вхідних і вихідних даних.

Комбінування різнотипних операцій маскування вхідних і вихідних даних можна застосовувати при обчисленні криптографічних перетворень, у множині базових операцій яких присутні як логічні, так і арифметичні операції. Приклади таких перетворень описані в [13, 14, 17, 18].

Якщо необхідно виконати арифметичну операцію над даними з “логічним маскуванням”, то спочатку доцільно перетворити тип маскування вхідних даних з “логічного маскування” на “арифметичне”, в подальшому виконати арифметичну операцію над даними з “арифметичним маскуванням” та наприкінці обчислити скоректовану “арифметичну маску” результату.

Аналогічно, якщо необхідно виконати логічну операцію над даними з “арифметичним маскуванням”, то спочатку доцільно перетворити тип маскування вхідних даних з “арифметичного маскування” на “логічне”, потім виконати логічну операцію над даними з “логічним маскуванням” з подальшим обчисленням скоректованої “логічної маски” результату.

Для розглянутих випадків перетворення масок вхідних даних функція  $f(a)$  задається у вигляді таблиці  $f(a) = T[a] = a$  для усіх  $a \in Z_n$ .

#### 4. Порівняння з відомими способами виконання табличних перетворення маскованих даних

Відомі роботи, присвячені виконанню операції підстановки над маскованими даними. Так у [6] запропоновано програмну реалізацію цієї операції (так званий алгоритм “повного маскування”). Принцип виконання операції підстановки маскованих даних полягає у маскуванні початкової таблиці  $T$ , за допомогою якої реалізовано перетворення заміни для алгоритму AES. Маскування здійснюється за допомогою двох масок: вхідної маски  $R^{in}$  і вихідної маски  $R^{out}$  таким чином, що для модифікованої таблиці  $T'$  справджується рівність  $T'[a_{i,j} \oplus R^{in}_{i,j}] = T[a_{i,j}] \oplus R^{out}_{i,j}$ . Такий спосіб виконання операції передбачає, що маскована

таблиця повинна обчислюватися для кожної пари  $R^{in}$  і  $R^{out}$ . Якщо зафіксувати пару масок для кожного раунду алгоритму AES та обчислити наперед таблицю, то для її збереження вимагається обсяг пам'яті, адекватний збереженню 20-и 256-байтових таблиць. Таким чином, для алгоритму AES необхідно використовувати 16 (чи 20) маскованих таблиць та додаткову коректувальну таблицю. При обчисленні таблиць “на льоту”, використовуючи, наприклад, алгоритм запропонований у [7] і розвинутий у [8], потрібно витратити достатньо багато часу, оскільки вимагається застосовувати біля 16 (чи 20, якщо врахувати алгоритм обчислення розпису ключа) разів за один раунд.

Швидкий алгоритм для модифікування маскованих таблиць, запропонований у [8, 9], передбачає обчислення послідовностей розбиття таблиць на блоки деякого розміру і перестановку блоків залежно від значення маски вхідних даних (алгоритм “поділу-і-обміну”). Згідно з цим алгоритмом, для деякої вхідної маски  $M$ , маскована таблиця  $T'$  поділяється на блоки, розмір яких залежить від позиції одиничних бітів у  $M$ . Після цього блоки таблиці попарно обмінюються місцями. Для отримання коректного результату з таблиці  $T'$  номер вузла заміни з неї обчислюється за допомогою коректувальної таблиці.

Для порівняння запропонованого алгоритму і алгоритмів [6, 8], оцінимо місткісну складність розглянутих алгоритмів виконання операції підстановки маскованих даних для алгоритмів AES та ГОСТ 28147-89 (табл. 1).

Таблиця 1

**Місткісна складність алгоритмів виконання операції підстановки маскованих даних для алгоритмів AES та ГОСТ 28147-89**

Алгоритм підстановки	Алгоритм AES	Алгоритм ГОСТ 28147-89	Примітка
“Повного маскування” [6]	40960 біт	512 біт	Маскована таблиця з повними вузлами замін AES
“Поділу і обміну” [8]	1344 біт	576 біт	Маскована таблиця з вузлами замін AES на основі операції
Запропонований (“заміни маски”)	1280 біт	512 біт	інвертування у полі $GF((2^4)^2)$

Як впливає з даних табл. 1, запропонований алгоритм вимагає лише однієї маскованої таблиці та володіє перевагами методу [8] – швидкість обчислень, мала кількість операцій, і в той же час, має меншу місткісну складність [10], ніж це притаманно методам [6, 8]. Процес обчислення модифікованої таблиці  $T'$  є швидким (на відміну від [6]) і потребує тимчасового буфера, який після використання може бути звільнений



для інших потреб. Крім перелічених переваг, на відміну від [6, 8], запропонований метод можна використовувати як для однотипного, так і різнотипного маскування вхідних та вихідних даних.

### Висновки

У роботі запропоновано узагальнений алгоритм для виконання операції підстановки над маскованими даними, де дані і маски належать множині  $Z_n$ , а маскування вхідних і вихідних даних виконується за допомогою групових операцій. Особливістю запропонованого алгоритму є обчислення маскованого результату з використанням лише маскованих даних, маски та таблиці підстановки. У алгоритмі не використовуються відомості про немасковані вхідні дані, що дозволяє уникнути проведення атак ДАСП.

Запропонований алгоритм містить дві процедури – підготовчу та основну. За допомогою підготовчої процедури формується маскована таблиця. При цьому таблиця перевпорядковується на основі інформації про проміжну маску, а вузли підстановки маскуються за допомогою вихідної маски.

Основна процедура алгоритму призначена для модифікування маскованих даних таким чином, щоб замінити вхідну маску на проміжну. Завдяки цьому масковану таблицю можна формувати лише один раз – до початку виконання операції підстановки над маскованими даними. Після модифікування маски здійснюється операція заміни маскованих проміжною маскою даних на відповідний вузол заміни. При цьому не використовуються відомості про відкриті дані.

У роботі розглянуто практичні аспекти використання запропонованого алгоритму для різних комбінацій групових операцій, які використано для маскування вхідних та вихідних даних: додавання за модулем 2 та додавання за модулем  $n$ . Вибір саме цих операцій зумовлений їх найчастішим використанням на практиці для побудови криптографічного обладнання, яке оперує маскованими даними. Мультиплікативні операції не використовуються на практиці для маскування внаслідок вразливості отриманих алгоритмів до так званих “нуль-атак” та складності реалізації модульних помножувачів.

У порівнянні з відомими алгоритмами, запропонований алгоритм володіє меншими часовою та місткістю складностями, добре пристосований як для апаратної, так і програмної реалізацій. Розроблений алгоритм доцільно використовувати для побудови комп’ютерних засобів захисту інформації, які обробляють дані, подані у маскованому поданні.

### Література

1. Oswald E., Schramm K. An efficient masking scheme for AES software implementations // Proc. International Workshop on Information Security Applications – WISA 2005, Vol. 3786 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2006. – Pp. 292 – 305.
2. Trichina E., Korkishko T. Secure AES hardware module for resource constrained devices // Proc. ESAS 2004, Vol. 3313 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2005. – Pp. 215 – 229.
3. Kocher P., Jaffe J., Jun B. Using unpredictable information to minimize leakage from smartcards and other cryptosystems // USA Patent, International Publication number WO 99/63696, December 9, 1999.
4. Oswald E., Mangard S., Herbst C., Tillich S. Practical second-order DPA attack for masked smart card implementations of block ciphers // Proc. CT-RSA 2006, Vol. 3860 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2006. – Pp. 192 – 207.
5. Blomer J., Guajardo J., Krummel V. Provably secure masking of AES // Proc. of Selected Areas in Cryptography – SAC 2004, Vol. 3357 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2004. – Pp. 69 – 83.
6. Messerges T. Securing the AES finalists against power analysis attacks // Proc. Fast Software Encryption Workshop 2000, Vol. 1978 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2000. – Pp. 150 – 165.
7. Trichina E., de Seta D., Germani L. Simplified Adaptive Multiplicative Masking for AES and its secure implementation // Proc. Cryptographic Hardware and Embedded Systems: CHES 2002, Vol. 2523 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2002. – Pp. 187 – 197.
8. Trichina E. Combinational Logic Design for AES SubByte Transformation on Masked Data. Available at <http://eprint.iacr.org/2003/236.pdf>
9. Schramm K., Paar C. High Order Masking of the AES // Proc. CT-RSA 2006, vol. 3860 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2006. – Pp. 208 – 225.
10. Черкаський М. Складність апаратно-програмних комп’ютерних засобів // Сучасні проблеми в комп’ютерних науках. Contemporary Computing in Ukraine CCU’2000. Збірник наукових праць. – Львів, 2000. – С. 58 – 67.
11. Коркішко Т.А., Мельник А.О., Мельник В.А. Захист інформації в комп’ютерних і телекомунікаційних мережах: Алгоритми та процесори симетричного блокового шифрування. Львів: БАК, 2003. – 168 с.
12. FIPS 46, “Data Encryption Standard”, Federal Information Processing Standard (FIPS), Publication 46, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, Washington D.C.
13. Daemen J., Rijmen V. The design of Rijndael: AES – The Advanced Encryption Standard, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2002.
14. ГОСТ28147-89. Система обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм

криптографічного преобразовання. М.: Госстандарт СССР.

15. Trichina E., Korkishko L. Secure and efficient AES software implementation for smart cards // Proceedings "5th International Workshop on Information Security Applications – WISA 2004", vol. 3325, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2004. – Pp. 425 – 439.

16. Golic J.D., Tymen C. Multiplicative masking and power analysis of AES // Proc. Cryptographic Hardware and Embedded Systems – CHES 2002, vol. 2523 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2002. – Pp. 198 – 212.

17. Rivest R., Robshaw M., Sidney R., Yin Y. The RC6 Block Cipher // First Advanced Encryption Standard (AES) Conference. – Ventura, CA, 1998.

18. Lai X., Massey J. A Proposal for a New Block Encryption Standard // Proceedings "Advances in Cryptology" – EUROCRYPT '90, Springer-Verlag, 1991. – Pp. 389 – 404.

Надійшла 14.10.2006 р.

УДК 004.3.: 004.891.3

Д.М. МЕДЗАТИЙ

Хмельницький національний університет

## ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ НЖМД

*В статті розглянуто питання формування навчальної вибірки при реалізації нейромережного методу прогнозування роботоздатності накопичувачів на жорстких магнітних дисках. Запропоновані матриці загальних та конкретних параметрів для накопичувачів на жорстких магнітних дисках. Наведені результати спостереження за роботою накопичувачів та досліджено вплив якості навчальної вибірки на похибку навчання.*

### Вступ

Накопичувачі на жорстких магнітних дисках (НЖМД) є водночас найважливішими, з огляду на високу цінність інформації, та найменш надійними компонентами сучасних комп'ютерних систем (КС). Низька надійність НЖМД обумовлена використанням високоточної механіки і підтверджується найбільшим відсотком звернень (до 30 %) користувачів до сервісних центрів саме з проблемами жорстких дисків [1]. Тому, на нашу думку, забезпечення відповідного рівня надійності саме НЖМД серед решти компонентів КС є найбільш актуальною задачею.

Надійність НЖМД забезпечується багатьма методами та підходами. Більшість з них потребують додаткових витрат коштів, часу і таке інше. До таких методів відносяться резервування, побудова "дзеркальних" масивів, використання інших підходів, що вводять надлишковість інформації. Перераховані методи є сенс використовувати лише у випадку високої цінності інформації та у системах з підвищеними вимогами до надійності та живучості. В решті випадків використання цих методів є недоцільними. Тому необхідно відшукувати інші, більш оптимальні методи та засоби, що дозволяють уникнути втрати цінної інформації та запобігти виходу з ладу КС. Одним з таких підходів є прогнозування роботоздатності НЖМД.

Метою прогнозування технічного стану може бути визначення з заданою імовірністю інтервалу часу (ресурсу), протягом якого збережеться роботоздатний (справний) стан об'єкта або імовірність збереження роботоздатного стану об'єкта на заданий інтервал часу [2]. Застосування методів прогнозування стану складних технічних об'єктів [3, 4] щодо КС в цілому так і до НЖМД зокрема, ускладнюється рядом об'єктивних причин, серед яких найвагомішими є: громіздкість математичного апарату, необхідність розроблення математичних моделей окремо для кожного об'єкта, великі похибки, відсутність доступу до необхідних прогностичних параметрів та неврахування взаємовпливу компонентів. В роботах [4, 5, 6] запропонований новий нейромережний метод прогнозування роботоздатності мікропроцесорних пристроїв та систем, який враховує їх особливості як об'єктів прогнозування та, на противагу відомим методам, дозволяє: врахувати взаємовплив компонентів, обмежитись доступними параметрами, а також формує єдину штучну нейронну мережу не для поодинокого об'єкта, а для класу об'єктів.

### Постановка задачі

Нейромережний метод прогнозування роботоздатності мікропроцесорних засобів обумовлює узагальнену модель об'єкта прогнозування (ОП):

$$M_{OP} = \langle O_G, O_D \rangle, \quad (1)$$

де  $M_{OP}$  – модель об'єкта прогнозування;  $O_G$  – множина його головних ознак;  $O_D$  – множина допоміжних ознак. В свою чергу, множина головних ознак визначається набором:

$$O_G = \langle M_{BF}, M_{UE}, M_K \rangle, \quad (2)$$

де  $M_{BF}$  – множина виконуваних функцій;  $M_{UE}$  – множина показників умов експлуатації;  $M_K$  –

множина компонентів, з яких складається ОП. А множина допоміжних ознак складається з двох матриць:

$$O_D = \langle P_{заг}, P_{конкр} \rangle, \quad (3)$$

де  $P_{заг}$  – матриця загальних та системних характеристик ОП;  $P_{конкр}$  – матриця конкретних характеристик та значень параметрів ОП [4, 5, 6].

Множина головних ознак формує опис класу, саме значення складових множини  $O_G$  визначає чи належить об'єкт класу. Множина допоміжних ознак визначає поточний технічний стан ОП і надає вихідні дані для побудови прогнозу. При чому матриця загальних та системних характеристик визначає місце ОП у своєму класі, а матриця конкретних характеристик та значень параметрів визначає поточні значення. Таким чином значення комірок матриці  $P_{конкр}$  є залежними від часу, тому при заповненні матриці значеннями доцільно вказувати її індекс, наприклад,  $P_{конкр}^j$  – матриця зі значеннями, знятими в момент  $t_j$ .

Розроблення системи прогнозування, що базується на нейромережному методі вимагає виконання обов'язкових етапів, серед яких початковими є визначення вигляду моделі для конкретного класу ОП. Найбільш складним є визначення вигляду матриць  $P_{заг}$  та  $P_{конкр}$ , оскільки надалі за цими даними відбувається формування структури штучної нейронної мережі прогнозування роботоздатності та проводиться накопичення навчальної вибірки [4, 5], що є визначальним для успішної реалізації нейромережного методу та отримання мінімальної похибки прогнозування [6].

#### Формування матриць загальних та конкретних характеристик НЖМД

Опишемо параметри, котрі вносяться до матриць  $P_{заг}$  та  $P_{конкр}$  при розгляді в якості ОП НЖМД. Важливим моментом реалізації нейромережного методу є необхідність врахування взаємовпливу компонентів. Тому до матриць загальних та конкретних характеристик необхідно включити параметри, що прямо не відносяться до НЖМД, а описують вплив решти компонентів КС на НЖМД.

Загальні параметри є незмінними для одного і того ж конкретного компонента протягом всього часу експлуатації. Зокрема, що стосується НЖМД, то загальні параметри для них можна розділити на фізичні та логічні. До матриці  $P_{заг}$ , виходячи з наявних параметрів, були включені параметри з задовільним рівнем інформативності та доступності. В даному випадку інформативність визначалася на підставі експертної оцінки, а доступність на підставі існуючих засобів збору перерахованих параметрів, з врахуванням можливостей користувача по визначенню значень необхідних параметрів. До матриці не вносились параметри, які не можливо визначити програмним шляхом, за виключенням параметру що визначає клас примусового охолодження НЖМД (цей параметр визначається користувачем самостійно за візуальними ознаками). Параметри внесені до матриці  $P_{заг}$  подані у табл. 1.

Таблиця 1

#### Загальні параметри для НЖМД

№	Параметр	логічний/фізичний
1.	Кількість дисків	фізичний
2.	Кількість поверхонь, що використовуються	фізичний
3.	Частота обертів шпинделя (об/хв.)	фізичний
4.	Час переходу від однієї доріжки до іншої (мс)	фізичний
5.	Середній час встановлення чи пошуку (мс)	фізичний
6.	Внутрішня швидкість передавання даних (Мбіт/с)	фізичний
7.	Об'єм кеш-буфера контролера (Мб)	фізичний
8.	Середня затримка розкручування (мс)	фізичний
9.	Неформатована ємність (Мб)	фізичний
10.	Кількість секторів LBA	логічний
11.	Інтерфейс	фізичний
12.	Примусове охолодження	фізичний
13.	Файлова система	логічний
14.	Кількість логічних дисків	логічний
15.	Активний розділ (0.1 чи 0.9)	логічний

Більшість значень параметрів при формуванні матриці  $P_{заг}$  конкретних НЖМД вноситься без зміни (тобто визначене числове значення параметра в явному вигляді вноситься до матриці). Виключення становлять параметри, які не мають числового значення (примусове охолодження, інтерфейс, файлова система) їх числові значення визначаються за спеціальними таблицями.

Наступним кроком є визначення параметрів, що відносяться до конкретних, та надалі вноситимуться до матриці  $P_{\text{конкр}}$ . Для визначення поточного технічного стану НЖМД з всіх можливих параметрів [7], найбільш інформативними є атрибути SMART (Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology). Вони відображають поточний технічний стан НЖМД, причому як контролера так і механічної частини. Однією з проблем при використанні SMART атрибутів є те, що сама технологія вводилась окремими виробниками без погодженості з іншими, і не дивлячись на тривалий час, який пройшов від початку впровадження технології, стандартизація атрибутів з внесеним обов'язковим їх переліком була проведена лише нещодавно. Однак, навіть на сьогодні не всі виробники дотримуються стандарту щодо обов'язкових атрибутів. Тому при включенні SMART атрибутів до матриці  $P_{\text{конкр}}$  будемо брати до уваги те, що атрибут має використовуватись в абсолютній більшості НЖМД. Таке положення обмежує кількість атрибутів, які будуть внесені до матриці конкретних параметрів. Крім того, при визначенні інформативності кожного окремого SMART атрибуту до уваги брався його тип. Значення SMART атрибутів визначається за допомогою діагностичних програмних засобів. Крім SMART атрибутів до матриці були включені ще кілька параметрів з достатньо високою інформативністю та доступних програмним шляхом. Визначені конкретні параметри представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Конкретні параметри для НЖМД

№	Параметр	SMART атрибут	Параметр зносу	Техніч. стану	Інтенс. використання	Параметр взаємодії
1	Частота виникнення помилок при читанні з диску (Raw Read Error Rate)	+	-	+	-	-
2	Час розкрутки шпинделя (Spin Up Time)	+	+	+	-	-
3	Кількість циклів запуску/зупинки шпинделя (Start/Stop Count)	+	+	+	+	-
4	Кількість секторів, що були перевизначені (Reallocated Sector Count)	+	-	+	-	-
5	Частота появи помилок позиціонування магнітних голівок (Seek Error Rate)	+	+	+	-	-
6	Середня продуктивність операцій позиціонування БМГ (Seek Time Performance)	+	-	+	-	-
7	Час який пропрацював пристрій (Power-On Hours Count)	+	+	-	+	-
8	Кількість повторних спроб старту шпинделя диску (Spin Up Retry Count)	+	-	+	-	-
9	Кількість повторних спроб recalібрування накопичувача (Recalibration Retries)	+	-	+	-	-
10	Кількість під'єднань до живлення (Device Power Cycle Count)	+	+	-	+	-
11	Температура (Temperature)	+	-	+	-	+
12	Поточна кількість нестабільних секторів (Current Pending Sector Count)	+	+	+	-	-
13	Кількість не скорегованих секторів (Uncorrectable Sector Count)	+	-	+	-	-
14	Кількість помилок CRC в режимі UltraDMA (UltraDMA CRC Error Rate)	+	-	+	-	-
15	Частота появи помилок при записі даних (Write Error Rate)	+	-	+	-	-
16	Рівень дефрагментованості	-	-	-	+	-
17	Відсоток вільного місця на диску	-	-	-	+	-
18	Наявність збійних секторів	-	+	+	-	-
19	Температура всередині системного блока	-	-	-	-	+
20	Відхилення від норми частоти шини PCI	-	-	-	-	+
21	Відхилення від норми напруги живлення	-	-	-	-	+

### Синтез архітектури ШНМ

Узагальнена архітектура ШНМ прогнозування роботоздатності мікропроцесорних засобів запропонована в роботах [5, 6]. Прямонаправлений перцептрон складається з вхідного, вихідного та двох прихованих шарів. Кількість нейронів вхідного шару визначається кількістю загальних та конкретних параметрів та додаткового входу, що відповідає за інтервал часу прогнозування. Таким чином кількість входів ШНМ прогнозування роботоздатності НЖМД – 37. Кількість виходів мережі відповідає кількості компонентів ОП, роботоздатність яких на заданому інтервалі часу нас цікавить. Оскільки поставлена задача прогнозування роботоздатності НЖМД, то вихідний шар складається з одного нейрона. Кількість нейронів прихованого шару визначається з врахуванням міри Вапніка-Червоненкіса за співвідношенням (4).

$$\frac{z_0 \cdot N}{1 + \log_2(N)} \leq N_w \leq z_3 \left( \frac{N}{z_0} + 1 \right) \cdot (z_0 + z_3 + 1) + z_3, \quad (4)$$

де  $z_0$  – кількість нейронів вхідного шару;  $N$  – кількість елементів навчальної вибірки;  $N_w$  – загальна кількість синоптичних ваг;  $z_3$  – кількість нейронів вихідного шару.

Вибір функції активації нейронів прихованих шарів був обумовлений тим, що коефіцієнти ваг синоптичних зв'язків в процесі навчання, при використанні лінійних функцій активації, часто стають дуже великими, що призводить до "паралічу" мережі. Щоб уникнути цього, в ШНМ прогнозування доцільно використати нелінійну, зокрема, сигмоїдну функцію активації нейронів прихованих шарів. Вона прямує до граничних значень, ніколи не досягаючи їх. Крім того, використання такого виду функції активації дозволяє забезпечувати задану точність апроксимації при меншій розмірності мережі. На відміну від прихованих шарів, активаційна функція нейронів вихідного шару повинна бути лінійною, щоб забезпечувати можливість отримання на виході довільних значень з діапазону  $(-\infty, +\infty)$ , а не обмежуватись областю значень нелінійної функції, що може погіршити характеристики ШНМ в цілому.

#### Збір даних для навчання

Для формування навчальної вибірки, проводилось спостереження за 45 комп'ютерами чотирьох лабораторій кафедри системного програмування Хмельницького національного університету протягом більше одного року з періодичністю один-два рази на тиждень. Незначна тривалість терміну спостереження обумовлена тим, що на початок проведення збору статистичної інформації, НЖМД встановлені в комп'ютерах лабораторій мали термін експлуатації від чотирьох до шести років, а це той період коли вихід з ладу найбільш імовірний. Тому допустимим є часткове нехтування параметрами досліджуваних НЖМД за минулий період експлуатації.

За допомогою розробленого програмного забезпечення результати спостереження вносились до бази даних. На основі отриманих даних сформована вибірка для навчання, що складається з 1200 векторів. До навчальної вибірки не вносились вектори з однаковими значеннями параметрів.

#### Результати навчання

Дослідження поведінки мережі проводилось на моделі реалізованій в пакеті Matlab [4]. Враховуючи співвідношення (4) та необхідність отримання мінімальної похибки прогнозування в якості оптимальної конфігурації було обрано структуру мережі, що має 20 та 41 нейрон в першому та другому прихованих шарах відповідно. Результати навчання різними функціями подані у табл. 3.

Таблиця 3

Результати навчання ШНМ прогнозування роботоздатності НЖМД

№	Структура мережі (кількість нейронів шарах)				Результати навчання				
	Вхід.	I прих.	II прих.	Вихід.	Похибка навчання	Кіл. ітерацій	час, с	Функція навчання	Похибка прогнозування, %
1	37	20	41	1	0,0015	4000	1890	Traingdm	20
2	37	20	41	1	0,0004	4000	1935	Traingdx	19
3	37	20	41	1	0.0008	4000	1890	Traingda	19
4	37	20	41	1	$22 \cdot 10^{-26}$	9	5431	Trainlm	20

На основі проведених досліджень було визначено, що матриця загальних параметрів перенасичена. Так як в межах класу розглядалися пристрої, значна частина яких вироблена одним і тим же виробником (рис. 1), і відповідно мають однакові значення загальних параметрів, то було прийнято рішення підняти необхідний рівень інформативності  $\mu_{необх}$  для загальних параметрів. Це призвело до зменшення їх кількості.

Отримана залежність похибки навчання від кількості загальних параметрів при однаковій кількості ітерацій та сталому методі навчання наведена на рис. 2. Зі зменшенням кількості загальних параметрів, похибка навчання прямує до нуля та зменшується похибка прогнозування.

По завершенні процесу навчання проведено оцінку його достовірності на верифікаційній вибірці, що складала 14 % від основної вибірки та не брала участі у навчанні.

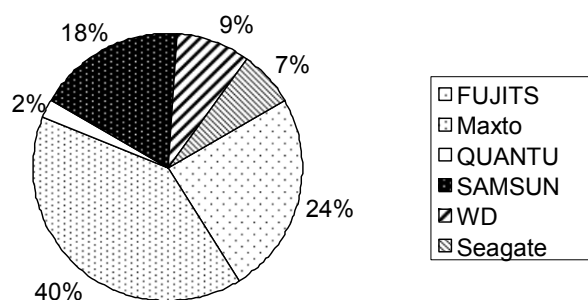


Рис. 1. Розподіл досліджуваних НЖМД за фірмами виробниками

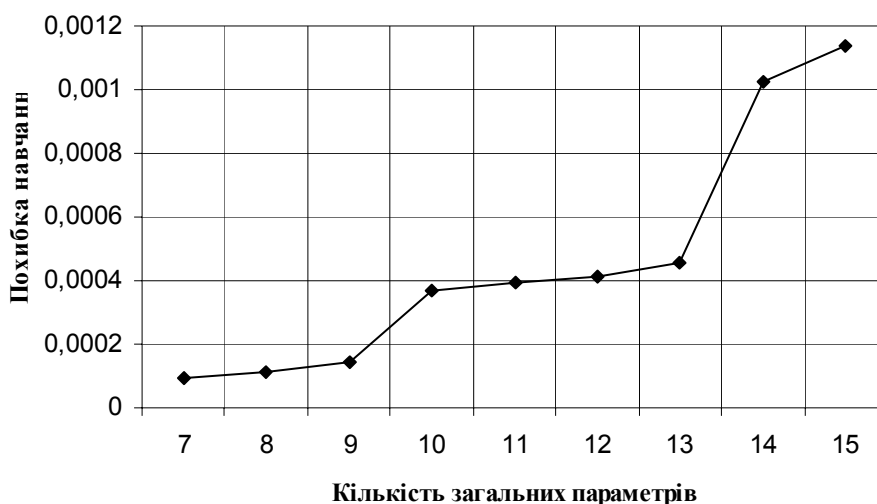


Рис. 2. Залежність отриманої похибки навчання від кількості загальних параметрів

### Висновки

При моделюванні ШНМ було досягнуто задовільних результатів, що свідчать про вірність запропонованих положень та припущень. Отримана модель ШНМ здатна прогнозувати технічний стан НЖМД, за умови визначення для них параметрів, приведених в таблицях 1 та 2. В результаті проведених досліджень виявлено суттєвий вплив наповнення навчальної вибірки на результати навчання та точність прогнозу. Таким чином при формуванні навчальної вибірки особливу увагу треба приділяти збалансованості даних. В свою чергу корегування вибірки слід проводити, в тому числі і на етапі навчання та верифікації.

### Література

1. Горбунцов С., Поздняков В. Когда закончилась гарантия / Компьютерное обозрение № 8. – 2005. С.23-25.
2. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – Чинний від 01.01.95. – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с.
3. Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалеvский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. Радио, 1974. – 224 с.
4. Медзятий Д.М. Прогнозування технічного стану мікропроцесорних пристроїв та систем // Вісник національного технічного університету «Львівська політехніка». – 2005. – № 555. – С. 158-165.
5. Локазюк В.М., Поморова О.В., Медзятий Д.М. Метод прогнозування технічного стану комп'ютерних систем // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Ч.1. – Т.1. – С.81-85.
6. Медзятий Д. М. Мікропроцесорні пристрої та системи як об'єкти прогнозування // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 2 (10). – С.119-123.
7. Морозов В., Яценко С. Современные накопители на жестких магнитных дисках: Ч. 2 / Ремонт электронной техники № 5. – 2003. – С.22-26.

Надійшла 3.10.2006 р.

УДК 591.1: 681.33

І.І. МІТАСОВ

Хмельницький національний університет

## ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГУ ДАНИХ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ АНАЛІЗІ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ

*В статті розглянуті питання побудови раціонального алгоритму скорочення обсягу даних при дистанційному отриманні електрокардіограм в межах системи комп'ютерного моніторингу за амбулаторними кардіологічними хворими. Запропонований алгоритм CORTES поєднує переваги двох відомих алгоритмів: алгоритму, побудованому на виборі точок зміни знаку нахилу, та алгоритму AZTEC.*

**Вступ.** Електрокардіограма (ЕКГ) являє собою запис сумарного електричного потенціалу, що виникає при збудженні множини міокардіальних клітинок. Нормальна ЕКГ показана на рис. 1.

*P*-зубець відповідає скороченню передсердь, викликаному електричним імпульсом, що виникає в синоатриальному вузлі й по провідній системі серця досягає передсердь; *P–R*-інтервал відповідає збудженню атриовентрикулярного вузла, а *QRS*-комплекс – скороченню шлуночків; *T*-зубець відповідає фазі відновлення

шлуночків. Якщо збудження первинно виникає в синоатриальному вузлі, то такий ритм називають *синусовим*. Патологічні ритми, виявлення яких дуже важливо для діагностики захворювання і його лікування, називають *аритміями*; патологічно сповільнений ритм – синусовою *брадикардією*, патологічно прискорений ритм – *тахікардією*.

За допомогою ЕКГ можуть бути встановлені різні порушення в провідній системі серця, а отже й їхні причини. Наприклад, збільшення *P–R*-інтервалу означає, що відбулася затримка збудження в атриовентрикулярному вузлі, причиною якої є атриовентрикулярна *блокада I ступеня*. Більш повільний власний ритм скорочення шлуночків свідчить про те, що деякі імпульси не досягли шлуночків. Це дозволяє зробити висновок про наявність *блокади II ступеня* (тобто часткової). Якщо жоден імпульс не досягає шлуночків, то ми маємо справу із *блокадою III ступеня* (тобто повною). Для лікування такої блокади застосовуються пейсмекери [1].

Іноді при повністю нормальній провідній системі серця, можуть спостерігатися позачергові скорочення серцевого м'язу. Якщо передчасно скорочуються передсердя, то це говорить про появу *передсердних екстрасистол*, якщо передчасно скорочуються шлуночки, то – про появу *шлуночкових екстрасистол*.

Для виявлення різних аритмій за допомогою комп'ютера в масштабі реального часу необхідно представити кожен вид аритмії в математичній формі. Для розробки алгоритмів виявлення аритмій вивчаються їхні записи, а принципи набору критеріїв їхньої ідентифікації обговорюються з кардіологами. Виявилось, що в кардіологів немає єдиної думки щодо вибору таких критеріїв, тобто те, що для кардіолога А є свідченням різкої брадикардії, кардіолог Б інтерпретує як нормальну частоту серцевих скорочень, при цьому як той, так і другий посилаються на свій досвід. Однак мікрокомп'ютер не має подібної гнучкості, і сигнали тривоги повинні подаватися за точними цифровими критеріями. Тому за мету дослідження в даній статті було взято формалізацію алгоритму виявлення відомих патологічних ритмів та вдосконалення використовуваних алгоритмів скорочення обсягу даних.

**Формалізація алгоритму виявлення аритмії.** Цифрові дані ЕКГ отримуються з компактних мобільних ЕКГ-моніторів, які носять з собою кожен амбулаторний хворий. При частоті злічування 200 відліків в 1с, отримані дані обробляються за допомогою алгоритму скорочення обсягу даних і потім заносяться в пам'ять. Невід'ємною частиною системи автоматичного аналізу є детектор *R*-зубця. Коли детектор виявляє *R*-зубець, встановлюється один з пріоритетних прапорців мікроконтролера ЕКГ-монітора. Якщо прапорець встановлений, мікроконтролер за допомогою таймера реального часу обчислює *R-R*-інтервал. Цей інтервал є першою ланкою алгоритмів, використаних для виявлення аритмій і подачі сигналу тривоги. При розробці алгоритмів забезпечується можливість швидкої заміни критеріїв ідентифікації аритмії залежно від вимог кардіологів і специфіки захворювання хворого. В табл. 1 наведені формалізовані критерії, які описані більш докладно в роботах [2,3].

*Різка брадикардія* – це критичне падіння частоти серцевих скорочень, навпаки, *тахікардія* являє собою значне збільшення нормального (синусового) ритму.

*Асистолія і фібриляція шлуночків* можуть бути визначені за відсутності *QRS*-комплексу протягом досить тривалого часу (>1,6 с).

*Випадання скорочення* може бути виявлене за *R-R*-інтервалом, якщо він приблизно дорівнює двом попереднім інтервалам, між якими немає проміжного скорочення.

*Екстрасистолічний феномен R+T* є порівняно небезпечним видом аритмії. Тут передчасне скорочення шлуночка відбувається під час фази його реполяризації (*T*-зубець).

*Бігемінія* – стан, при якому кожна шлуночкова екстрасистола чергується з одним нормальним скороченням:

*Тригемінія* – стан, при якому за двома нормальними скороченнями шлуночків відбувається одна передчасна і наступна повна компенсаторна пауза.

*Інтерпольованими екстрасистолами* (вставними) називають передчасне скорочення шлуночків, за яким не виникає компенсаторної паузи.

*Передсердні екстрасистоли* являють собою передчасні скорочення передсердь з наступною неповною компенсаторною паузою.

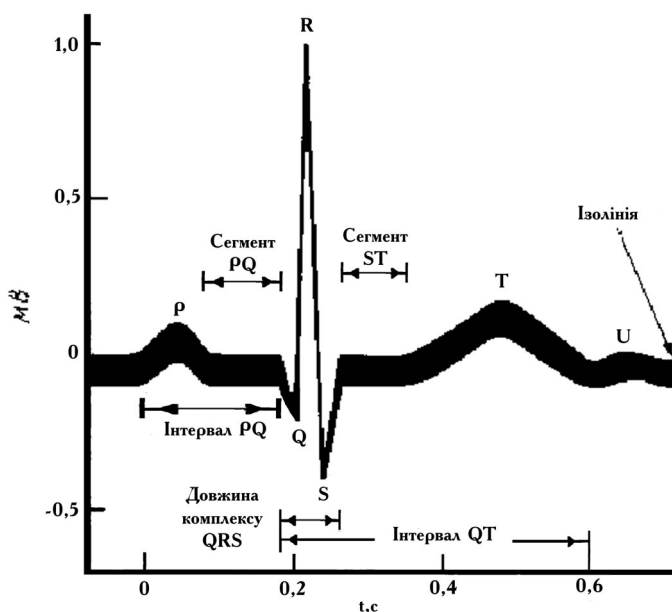
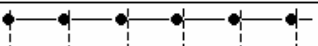
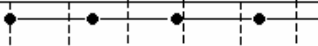




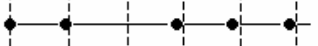



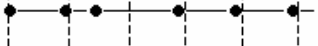
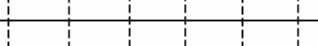


Рис. 1. ЕКГ в II стандартному відведенні здорового пацієнта

Нормалізовані критерії аритмії		
Нормальний синусовий ритм		$RRr < 0,5... 1,5c$
Брадикардія		$RRr > 1,5c$ $ARr > 1,2c$
Тахікардія		$ARr < 0,5c$
Асистолія		$R$ -зубець відсутній
Фібриляція шлуночків		більше 1,6 с
Випадання скорочень		$RRr > 1,9(ARr - 1)$ ,
Сіноаурикулярна блокада		за яким не відбувається екстрасистола
Блокади I і II типів за Мобітцем		
Шлуночкові екстрасистоли		$RRr - 1 < 0,9(ARr - 2)$ $RRr - 1 + RRr \approx 2(ARr - 2)$ частота більше 10 раз/хв
$R + T$ - феномен		$RRr - 1 < 0,33(ARr - 2)$ $RRr - 1 + RRr \approx 2(ARr - 2)$
Бігемінія		$RRr - 3 < 0,9(ARr - 4)$ $RRr - 1 < 0,9(ARr - 2)$ $RRr - 3 + RRr - 2 \approx 2(ARr - 4)$ $RRr - 1 + RRr \approx 2(ARr - 4)$
Тригемінія		$RRr - 2 < 0,9(ARr - 3)$

**Алгоритми скорочення обсягу даних.** При частоті злічення даних ЕКГ-монітором 200 відліків в 1 с виникає необхідність в збереженні і передачі великого обсягу інформації. У зв'язку з цим потрібна така процедура, що дозволяла б зменшити обсяг даних без втрати істотної інформації. З відомих алгоритмів, використовуються для скорочення обсягу даних, назовемо два:

- алгоритм, побудований на виборі точок зміни знаку нахилу;
- алгоритм AZTEC (AZTEC – Amplitude Zone Time Epoch Coding).

Перший алгоритм є найбільш легко та швидко реалізуваним. При його використанні виробляється аналіз зміни значень злічених точок ЕКГ-сигналу і у пам'яті зберігається тільки одна точка з кожних двох послідовних. Термін "точка зміни знаку нахилу" означає, що за допомогою цього алгоритму запам'ятовуються тільки точки, в яких змінюється знак нахилу кривої, яка описує форму сигналу.

Другий алгоритм заснований на кодуванні часу, протягом якого амплітуда сигналу змінюється на задану величину. Даний алгоритм є найбільш широко використовуваним засобом скорочення обсягу інформації при використанні компактних ЕКГ-моніторів і бази даних. З його допомогою дані ЕКГ представляються у вигляді горизонтальних і похилих ліній.

**Вдосконалений алгоритм.** Вдосконалення досягається поєднанням алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу й алгоритму AZTEC, оскільки перший дає гарну роздільну здатність при частоті відліків 100 Гц, а другий дозволяє виключити клінічно незначущі ізоелектричні області сигналу при більш ніж 10-кратному скороченні обсягу даних. Іншими словами, новий алгоритм передбачає одночасне використання двох алгоритмів обробки даних ЕКГ: алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу – для кодування клінічно важливих високочастотних ділянок сигналу і алгоритму AZTEC – для кодування ізоелектричної частини сигналу. Даний алгоритм отримав назву CORTES.

Коли лінія, одержувана за допомогою алгоритму AZTEC, побудована, то приймається рішення, засноване на визначенні її довжини: або варто запам'ятати дані цього алгоритму, або ж дані алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу. Якщо довжина лінії більше експериментально встановленого граничного значення  $V_{ln}$ , то запам'ятовуються дані алгоритму AZTEC; якщо ж довжина лінії менше чи дорівнює  $V_{ln}$ , то в пам'ять заносяться дані алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу. Щоб прискорити процес, дані, одержувані за допомогою другого алгоритму, відразу ж заносяться в масив. Для визначення місць цього масиву, відповідних зміні того чи іншого алгоритму, а також даних, які передбачається запам'ятати, або дійсно запам'ятовуватися, застосовуються два маркери масиву –  $P1$  і  $P2$ . Для ідентифікації переходу між даними алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу і даними алгоритму AZTEC у 8-розрядному мікропроцесорі в якості маркера може виступати будь-яке число (наприклад, 0), що скорочує число рівнів квантування ЕКГ-сигналу з 256 до 255.

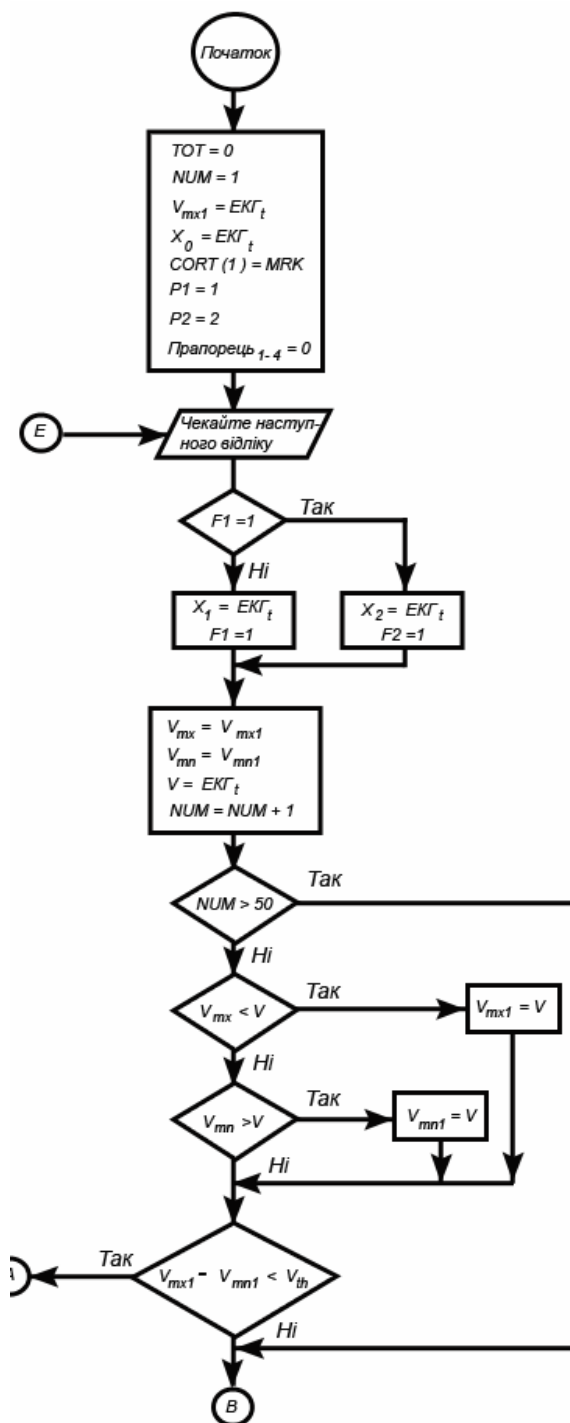
Блок-схема алгоритму скорочення даних CORTES зображена на рис. 2. Значення  $V_{mn}$ ,  $V_{mx}$  і  $X_0$  вважають



рівними значенню першого відліку ЕКГ-сигналу.

Значення маркера вважають рівним адресі першої комірки масиву CORTES;  $P1$  встановлюється рівним 1,  $P2 - 2$ ; обнуляються прапорці. Після такої ініціалізації можна використовувати алгоритм.

Значення  $X_1$  порівнюється значенню наступної точки і порівнюється зі значенням  $V_{mx}$  і  $V_{mn}$ . Третя точка відповідає  $X_2$ ; вона порівнюється з межами вікна у випадку алгоритма AZTEC. Після цього  $X_0$  заноситься в пам'ять і  $P2$  збільшується на 1. Це повторюється доти, поки за допомогою алгоритму AZTEC не буде виявлена лінія. Якщо довжина лінії буде  $V_{ln}$ , то вона запам'ятовується (рис. 3,а) і покажчики пересуваються; якщо ж вона виявиться коротше, то запам'ятовуються дані алгоритму вибору точок зміни знака нахилу (рис. 3,в). Після запам'ятовування цих даних вказівник  $P1$  пересувається вперед. Потім за алгоритмом AZTEC починається побудова нової лінії й одночасно передчасне запам'ятовування даних алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу. На рис. 3 показаний перехід від запам'ятовування даних алгоритму AZTEC до запам'ятовування або даних, отриманих за його ж допомогою, або нових даних, отриманих за допомогою алгоритму вибору точок зміни знака нахилу (і навпаки). Найбільш важливим моментом при переході є зміна положення покажчика (маркера), що визначає описані переходи.



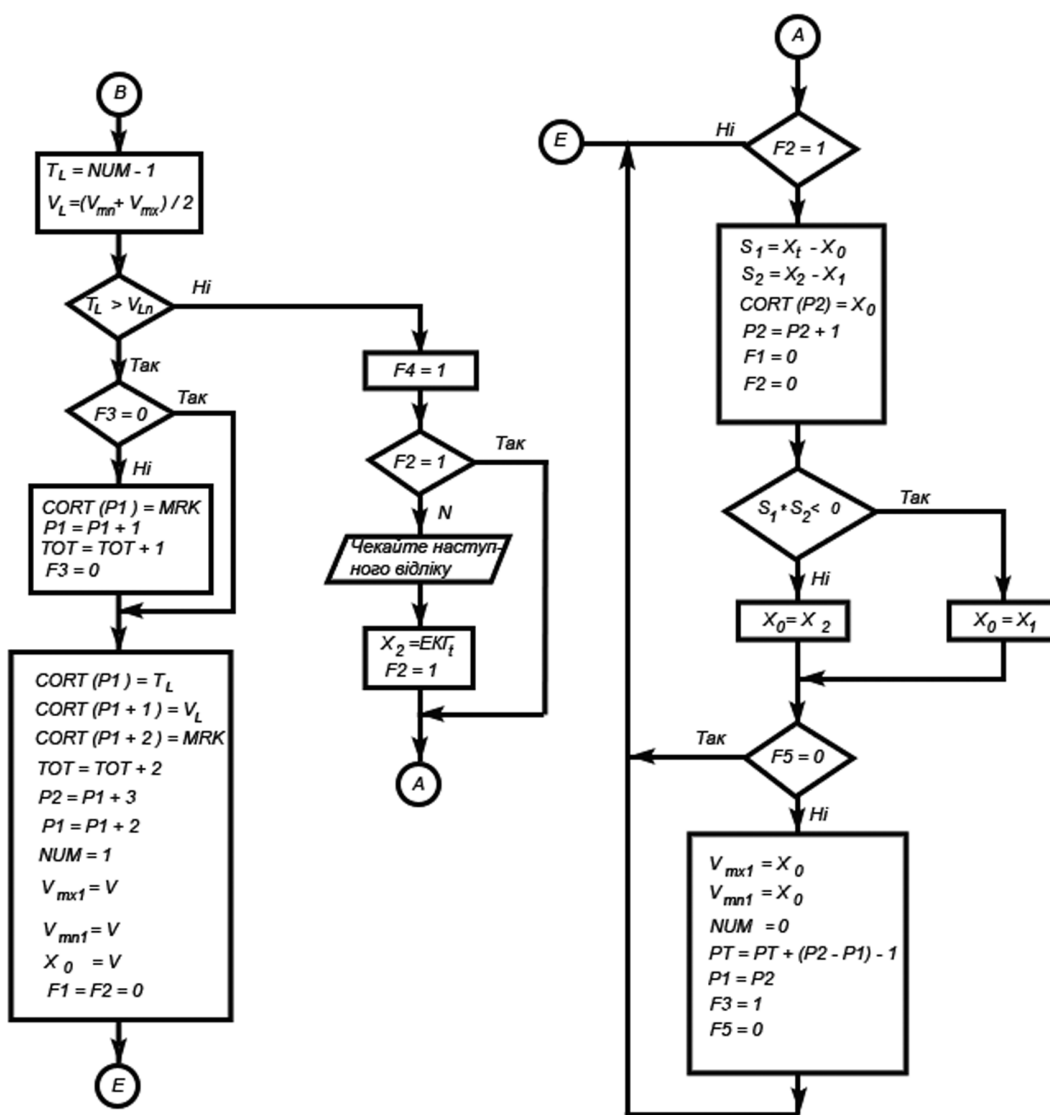


Рис. 2. Блок-схема алгоритма CORTES

Якщо довжина лінії, отриманої за даними алгоритму AZTEC, занадто мала для того, щоб її значення було запам'ятовано й остання точка прийняла значення  $X_1$ , наступне злічене значення сигналу повинне бути зафіксоване до того, як дані алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу кривої будуть остаточно запам'ятовані. При цьому нова точка нахилу може відповідати  $X_2$ , і можна визначити нове значення  $X_0$ . Якщо наступна лінія буде мати достатню довжину, то вона запишеться замість відповідних даних алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу; при цьому збережеться правильний відлік часу.

Хоча блок-схема даного алгоритму здається досить складною, проте шлях обробки даних у цьому випадку фактично коротше, ніж при використанні алгоритму AZTEC, оскільки немає необхідності в кодуванні величини нахилу. На відміну від алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу і алгоритму AZTEC, переклад даних алгоритму CORTES у звичну форму виявляється досить складним. На щастя, цей перехід здійснюється на центральному комп'ютері, тобто практично виключаються обмеження, властиві обчисленням у масштабі реального часу. Оскільки відстань між точками, отриманими за допомогою алгоритму AZTEC, відповідає одному проміжку між відліками, а відстань між точками, отриманими за допомогою алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу, двом проміжкам, необхідна додаткова обробка даних. Крім того, перехід між двома типами точок підкоряється різним правилам. Якщо маркер з'являється за лінією (рис. 4,а), тобто наступна точка є точкою зміни знаку нахилу, то довжина лінії зменшується і відстань між двома точками скорочується. (Відстань між кінцем лінії і першою точкою зміни знаку нахилу дорівнює 1, а не 2, як у випадку двох точок, отриманих по алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу).

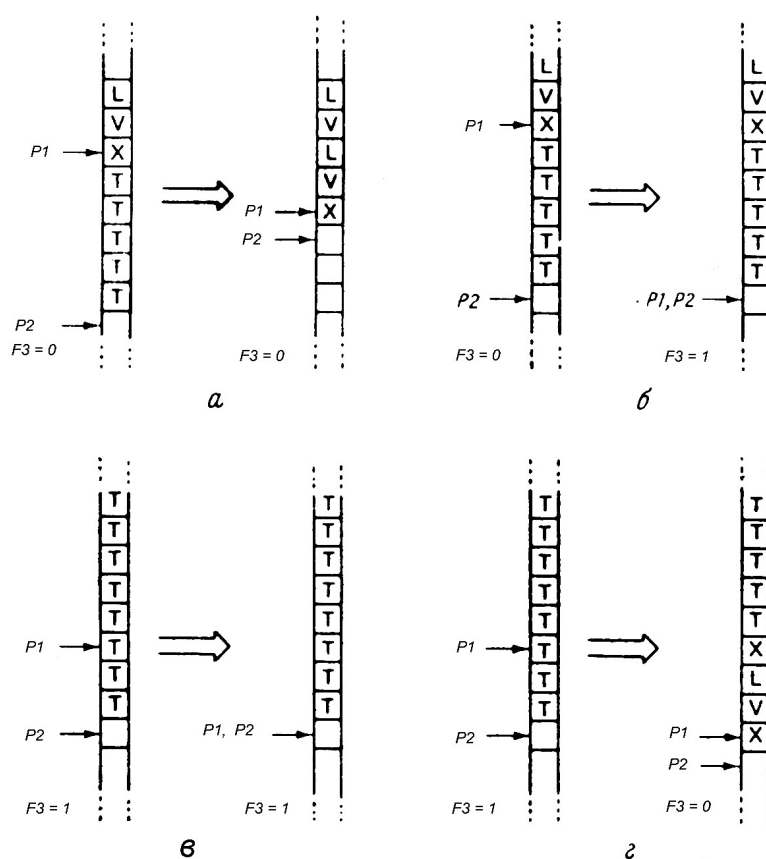


Рис. 3. Положення покажчика (P) і передача даних у масивах CORTECS

*a* – останні остаточні дані отримані по алгоритму AZTECS, нові – також по ньому; *б* – останні остаточні дані отримані по алгоритму AZTECS, нові – по алгоритму вибору точки, у якій змінюється знак нахилу; *в* – останні остаточні дані отримані по алгоритму вибору точки, у якій міняється знак нахилу, нові – по ньому ж; *г* – останні остаточні дані отримані по алгоритму вибору точки, у якій міняється знак нахилу, нові – по алгоритму AZTECS; L-довжина AZTECS-лінії, V – величина амплітуди AZTECS-лінії, X – символ, що обмежує дані двох алгоритмів, T – дані алгоритму вибору точки зміни знака нахилу, F3=1, коли останнє остаточне записане значення було точкою зміни знака нахилу. P1-покажчик початку переходу даних у ймовірний статус; P2-покажчик, що відзначає наступний вільний проміжок (зверніть увагу, що (a) і (б) являють собою вершину масиву).

Якщо маркер з'являється за точкою зміни знаку нахилу (наступні збережені дані – лінія, одержувана за допомогою алгоритму AZTECS), то відстань між цією точкою і лінією буде зростати і стане рівною двом проміжкам між відліками (рис. 4,б).

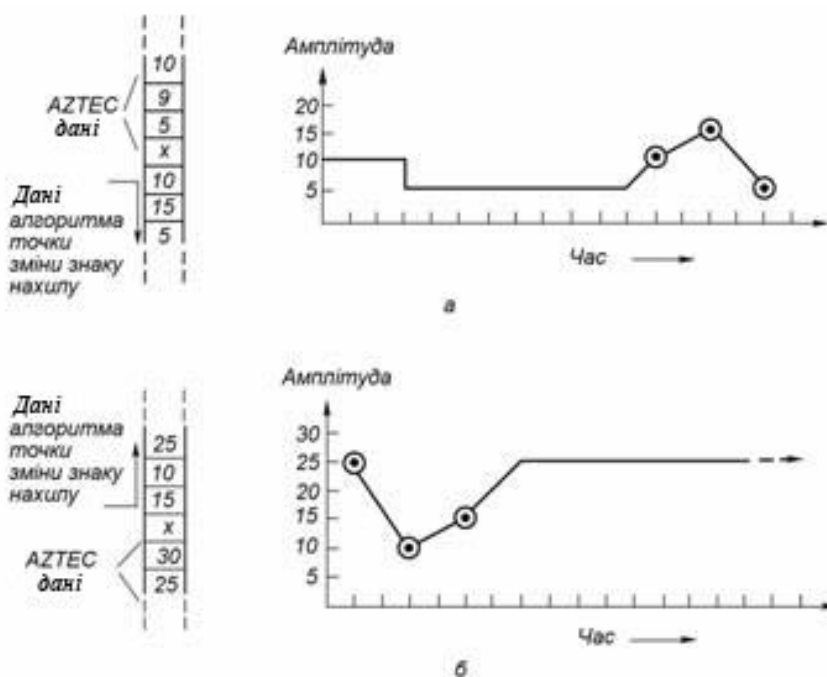


Рис. 4. Відновлення даних за допомогою алгоритма CORTECS

Таким чином, при відновленні даних, оброблених за алгоритмом CORTES, необхідно діяти відповідно наступними правилами: довжина ліній, отриманих за допомогою алгоритму AZTEC, вимірюється в одиницях, рівних проміжку між відліками; відстань між точками зміни знаку нахилу відповідає двом проміжкам між відліками; при переході від даних алгоритму AZTEC до даних алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу довжина лінії зменшується і відстань між кінцем укороченої лінії і точкою зміни знаку нахилу дорівнює 1; при переході від даних алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу до даних алгоритму AZTEC відстань від останньої точки зміни знаку нахилу до початку лінії дорівнює 2.

На рис. 5 показані сигнали, зображені після обробки за допомогою алгоритму CORTES.

Незважаючи на те, що після обробки даних за алгоритмом CORTES зберігається необхідна роздільна здатність *QRS*-комплексу, все ж таки спостерігаються стрибки в ізоелектричну область сигналу. У зв'язку з цим здійснюється додаткове згладжування сигналу. Насамперед дані представляються у вигляді ряду дискретних точок. Для того щоб відстань між точками відповідала реальній, виробляється визначення і запам'ятовування середнього значення для кожної пари точок зміни знаку нахилу. Після утворення ряду дискретних точок здійснюється параболічне згладжування сигналу за допомогою низькочастотної фільтрації.

#### Висновки.

1) Шляхом поєднання переваг алгоритму вибору точок зміни знаку нахилу й алгоритму AZTEC побудований вдосконалений алгоритм CORTES.

2) Одночасне використання двох алгоритмів обробки даних ЕКГ дало можливість здійснити кодування клінічно важливих високочастотних ділянок сигналу і кодування ізоелектричної частини сигналу.

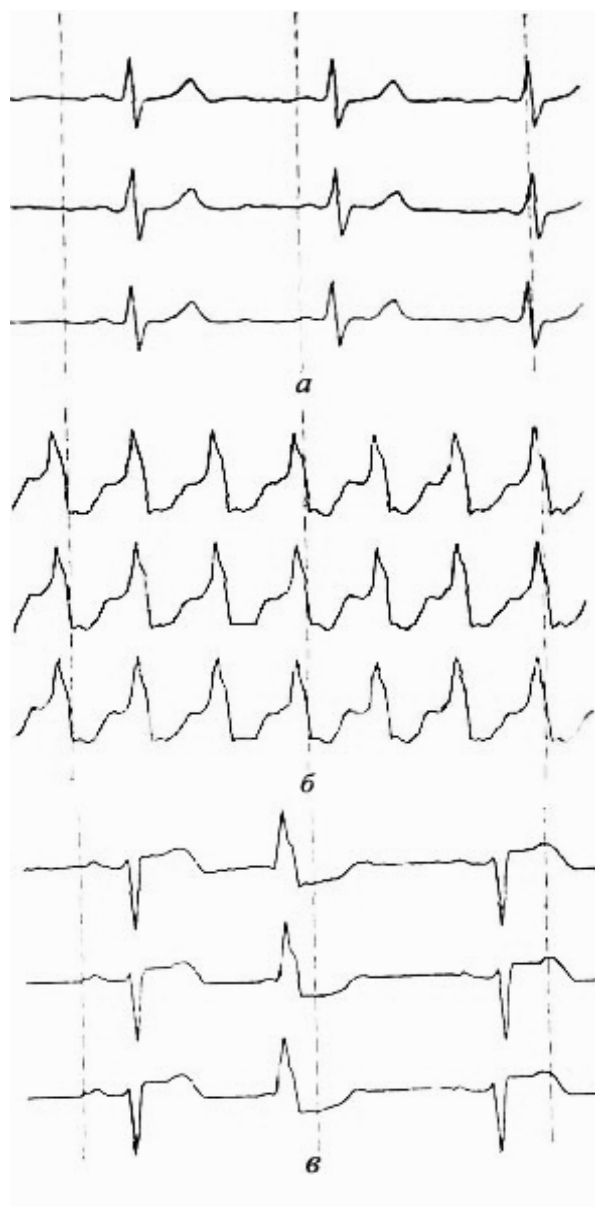


Рис. 5. Алгоритм CORTES

*а* – нормальний синусів ритм, скорочення 102: 1000; *б* – тахікардія, скорочення 106: 1000; *в* – шлуночкова екстрасистола, скорочення 175: 1000. У кожній групі кривих верхня відповідає первісній ЕКГ, середня – закодованій по алгоритму CORTES, нижня – закодованій по цьому ж алгоритму, але після згладжування за допомогою параболічного цифрового фільтра

## Література

1. Митасов И.И., Попов С.А. Программируемые экстракорпоральные кардиостимуляторы. Диагностические возможности. Сравнительный анализ. Вісник Технологічного університету Поділля, Хмельницький, 2003, № 3, т.2, с.60-65.
2. Митасов І.І. Квантовані марківські точкові процеси у біометрії та медичній діагностиці. Вісник Хмельницького національного університету, Хмельницький, 2005, № 4, част.1, т.2, с.181-187.
3. Abenstein J.P. Algorithms for real-time ambulatory ECG monitoring. *Biomed. Sci. Instrum.*, 1988, 14, 73-79.

Надійшла 10.10.2006 р.

УДК 620.179.1: 53.08

І.С. ЧУК, В.Д. БІДЮК  
Хмельницький національний університет

### ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАТЧИКІВ ВМІСТУ МАГНІТНОЇ ФРАКЦІЇ В РЕЧОВИНІ

Приведені порівняльні характеристики індуктивного та трансформаторного датчиків вмісту магнітної фракції в речовині залежно від обраної схеми живлення датчиків. Розроблені рекомендації щодо застосування датчиків при різних схемах живлення.

При неруйнівному контролі вмісту магнітної фракції в речовині в різних галузях промисловості, наприклад, при відновленні заліза з концентратів залізної руди [1], досить поширені індуктивні та трансформаторні датчики. Похибка визначення вмісту магнітної фракції в значній мірі залежить від чутливості датчика.

Для порівняння було проаналізовано та експериментально перевірено чутливість індуктивного [1] та трансформаторного датчиків, еквівалентні схеми яких показані на рис. 1, де  $R$  та  $L$  – активний опір та індуктивність датчика,  $M$  – взаємна індуктивність обмоток трансформаторного датчик,  $I$  – струм датчика,  $U$ ,  $U_t$  – вхідна та вихідна напруги.

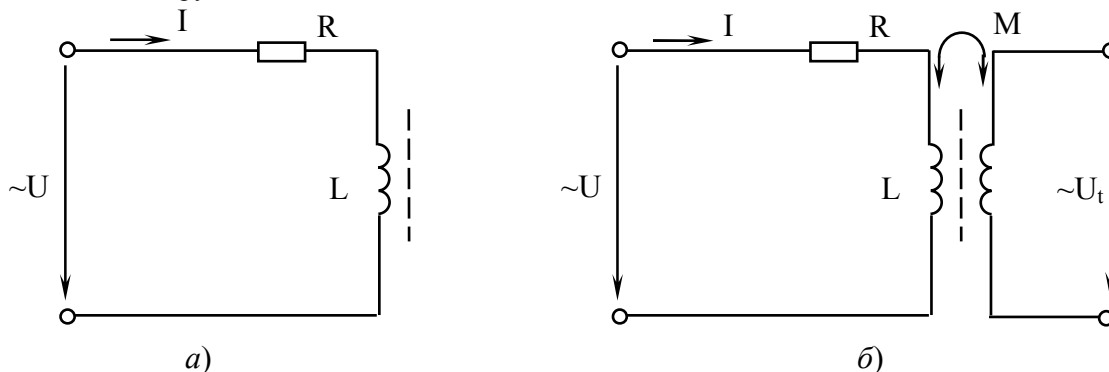


Рис. 1. Еквівалентні схеми заміщення датчиків: а) індуктивний; б) трансформаторний

Згідно з теоретичними основами електротехніки [2] для даних схем можна записати

$$U = I\sqrt{R^2 + X^2} \quad (1)$$

$$U_t = IX_M \quad (2)$$

де

$$X = \omega L;$$

$$X_M = \omega M;$$

$$\omega = 2\pi f;$$

$f$  – частота мережі живлення датчика.

Для зручності аналізу запишемо вирази (1), (2) у вигляді

$$U = I\omega L \sqrt{1 + [R/(\omega L)]^2}, \quad (3)$$

$$U_t = U \frac{M}{L} \frac{1}{\sqrt{1 + [R/(\omega L)]^2}}. \quad (4)$$

При вмиканні датчиків в систему керування технологічним процесом можливі два варіанти їх живлення: від джерела напруги ( $U=const$ ) та від джерела струму ( $I=const$ ). При живленні від джерела струму

вихідний сигнал індуктивного датчика буде описуватись виразом (3), а при живленні від джерела напруги вихідним сигналом буде струм

$$I = \frac{U}{\omega L \sqrt{1 + [R/(\omega L)]^2}} \quad (5)$$

Робота індуктивного датчика при живленні від джерела напруги проаналізована в [1].

Для трансформаторного датчика незалежно від типу джерела живлення вихідний сигнал буде змінюватись згідно з співвідношенням (4).

Корисним сигналом датчиків є відносний приріст вихідних величин: індуктивного

$$\Delta U = \frac{U - U_0}{U_0} \quad (6)$$

та трансформаторного датчиків

$$\Delta U_t = \frac{U_t - U_{t0}}{U_{t0}}, \quad (7)$$

де  $U_0, U_{t0}$  – напруга на виході датчиків при відсутності магнітної фракції;

$U, U_t$  – при її наявності.

При живленні від джерела струму після відповідних підстановок та перетворень отримаємо вирази для відносної зміни вихідного сигналу датчиків:

індуктивного

$$\Delta U_i = \frac{I}{I_0} \frac{L}{L_0} \sqrt{\frac{1/Q^2 + 1}{1 + Q_0^2 + 1}} - 1; \quad (8)$$

трансформаторного

$$\Delta U_{ii} = \frac{I}{I_0} \frac{M}{M_0} - 1. \quad (9)$$

При живленні від джерела напруги для трансформаторного датчика

$$\Delta U_{iu} = \frac{U}{U_0} \frac{M}{L} \frac{L_0}{M_0} \sqrt{\frac{1/Q_0^2 + 1}{1/Q^2 + 1}} - 1. \quad (10)$$

В цих виразах  $L_0, M_0$  – індуктивність та взаємна індуктивність датчиків при відсутності магнітної фракції в пробі  $Q_0 = \omega L_0 / R$ ,  $Q = \omega L / R$  – добротність датчиків при відсутності та при наявності магнітної фракції.

В співвідношеннях (8).. (10)  $I = I_0$ ,  $U = U_0$ ,  $M/L = M_0/L_0 = const$ .

Враховуючи емпіричну залежність між індуктивністю  $L$  та вмістом магнітної фракції  $p$  [1]

$$L = L_0 \beta^{(p^\alpha)} \quad (11)$$

(експериментально визначені значення відношення  $M/L = 0,8$  та коефіцієнтів:  $\beta_u = 1,3$ ;  $\alpha_u = 1,5$  – джерело напруги і  $\beta_i = 1,48$ ;  $\alpha_i = 2,5$  – джерело струму), отримаємо співвідношення для індуктивного датчика:

$$\Delta U_i = \beta_i^{(p^{\alpha_i})} \sqrt{\frac{1/\beta_i^{2(p^{\alpha_i})} + Q_0^2}{1 + Q_0^2}} - 1, \quad (12)$$

$$\Delta U_u = 1 - \frac{1}{\beta_u^{(p^{\alpha_u})}} \sqrt{\frac{1/Q_0^2 + 1}{1/(Q_0 \beta_u^{(p^{\alpha_u})})^2 + 1}}, \quad (13)$$

та для трансформаторного датчика:

$$\Delta U_{ii} = \beta_i^{(p^{\alpha_i})} - 1, \quad (14)$$

$$\Delta U_{iu} = \sqrt{\frac{1 + Q_0^2}{1/\beta_u^{2(p^{\alpha_u})} + Q_0^2}} - 1. \quad (15)$$

Аналізуючи дані співвідношення, бачимо, що відносна зміна вихідного сигналу датчиків залежить від

їх конструктивних особливостей, тобто значення коефіцієнтів  $\alpha$ ,  $\beta$ , добротності  $Q$  та вмісту магнітної фракції  $p$  в контрольованому матеріалі.

Із (14) видно, що вихідний сигнал трансформаторного датчика при живленні від джерела струму не залежить від його добротності, тобто опір  $R$  не впливає на чутливість. Для решти датчиків чутливість зростає при збільшенні добротності. При  $Q_0 \gg 1$  підкореневий вираз в (12) та (15) наближається до одиниці. В цьому випадку  $\Delta U_i = \Delta U_{ti}$ , а  $\Delta U_{tu} = 0$ , тобто при живленні від джерела струму індуктивний і трансформаторний датчики будуть мати однакову чутливість до зміни вмісту магнітної фракції, а при живленні від джерела напруги незалежно від вмісту магнітної фракції вихідний сигнал трансформаторного датчика буде відсутній. Виконання умови  $Q_0 \gg 1$  можливе при  $\omega L_0 \gg R$ , тобто потрібно збільшувати частоту струму джерела живлення, індуктивність датчика та зменшувати його активний опір.

При умові  $Q_0 \ll 1$  співвідношення (12) дорівнює нулю ( $\Delta U_i = 0$ ), а (15) приймає вигляд

$\Delta U_{tu} = \beta_u (p^{\alpha_u}) - 1$ . Тобто індуктивний датчик при живленні від джерела струму перестає працювати, а вихідний сигнал трансформаторного датчика при живленні від джерела напруги змінюється за тим же законом що й від джерела струму і величина його визначається значеннями коефіцієнтів  $\alpha$  та  $\beta$ . Оскільки  $Q_0 \ll 1$  можливе при  $\omega L_0 \ll R$ , то можна зробити висновок, що збільшуючи значення активного опору трансформаторного датчика, умови його роботи можна наблизити до тих, які маємо при живленні від джерела струму.

На рис. 2 показані графіки залежності приросту вихідного сигналу від вмісту магнітної фракції при живленні від джерела струму (1, 2) та джерела напруги (3, 4) для трансформаторного (1, 4) та індуктивного (2, 3) датчиків. Суцільними лініями показані залежності, розраховані за співвідношеннями (12).. (15). Точками – результати експериментальних значень зміни вихідного сигналу для проб, виготовлених із продуктів збагачення залізної руди. Для розроблених датчиків значення добротності  $Q_0 = 1,1$ .

Таким чином, порівнюючи індуктивний і трансформаторний датчики, можна зробити висновки:

1. При аналізі вмісту магнітної фракції перевагу слід надавати живленню датчиків від джерела струму. В цьому випадку відносна зміна вихідного сигналу трансформаторного датчика при зміні вмісту магнітної фракції на 1 % (тобто чутливість датчика) є максимальною і не залежить від його добротності. Для збільшення чутливості індуктивного датчика необхідно підвищувати його добротність.

2. При живленні від джерела напруги перевагу має індуктивний датчик, але його чутливість значно нижча, ніж при живленні від джерела струму.

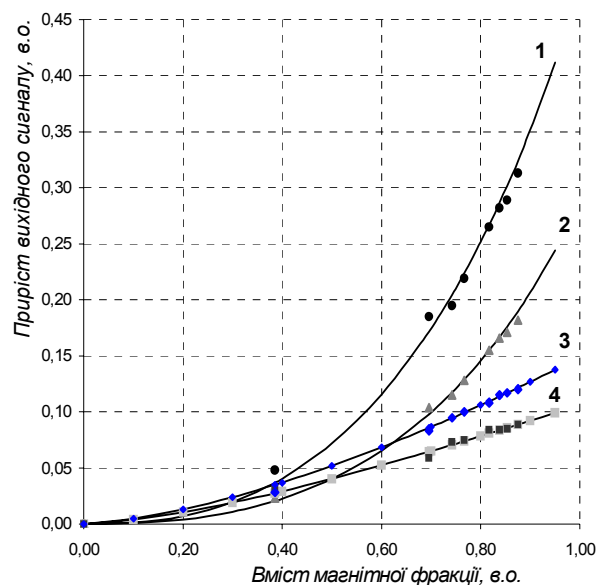


Рис. 2. Залежність приросту вихідного сигналу від вмісту магнітної фракції при живленні від джерела струму

## Література

1. Чук І.С., Бідюк В.Д. Застосування індуктивного датчика при неруйнівному контролі вмісту магнітної фракції // Вісник ХНУ. – 2003. – № 1. – С. 96-99.
2. Косенков В.Д. Теорія електричних та магнітних кіл: Навчальний посібник. – Хмельницький: ТУП, 2003. – 199 с.

Надійшла 25.10.2006 р.

## ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ З РЕЗОНАНСНИМ КОНТУРОМ НА ОСНОВІ ДВОЗАТВОРНОЇ МДН-СТРУКТУРИ

У роботі показано можливість прямого перетворення температури в частоту на основі гібридної інтегральної схеми, в якій термочутливий резонансний контур побудований на основі двозатворного МДН-транзистора. Отримано аналітичну залежності функції перетворення і проведені її експериментальні дослідження. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість перетворювача лежить у діапазоні від 12 кГц/К до 32 кГц/К.

### Вступ

Вимірювання температури відіграє значну роль у визначенні складу речовини, вивченні дальнього і ближнього космосу, контролі різноманітних технологічних процесів, методів діагностики в техніці та медицині, моніторингу навколишнього середовища [1, 2].

Більшість перетворювачів температури є аналоговими, у яких температура перетворюється в електричний сигнал у вигляді напруги або струму [3, 4]. Використання перетворювачів з частотним вихідним сигналом дозволяє отримати ряд переваг у порівнянні з аналоговими, які містяться у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє підвищити точність вимірювання, а також у можливості отримання значних вихідних сигналів. Це дозволяє відмовитись від підсилювальних пристроїв та аналого-цифрових перетворювачів в наступній обробці сигналів, що підвищує ефективність вимірювальної апаратури [5, 6]. В роботі запропоновано новий підхід для створення перетворювача температури з частотним виходом на основі двозатворного МДН-транзистора, повний опір якого залежить від дії температури.

### Теоретичні і експериментальні дослідження

Принцип дії автогенераторного перетворювача температури на основі відомої схеми високостабільного двоточкового генератора гармонійних коливань з паралельним LC-контуром (рис. 1,а), який може бути використаний як чутливий елемент вимірювального приладу, ґрунтується на індуктивному ефекті. У схемі такого генератора реактивні компоненти коливного контуру реалізовані з використанням двозатворного МДН-транзистора (рис. 1, б).

Реактивний двозатворний МДН-транзистор має індуктивний характер повного опору в представленій схемі ввімкнення і разом з еквівалентною ємністю утворює вимірювальний коливний контур, тобто індуктивність контуру – еквівалентна індуктивність ділянки "Витік-Стік", а ємність, відповідно, – це міжелектродна ємність "Затвор1-Затвор2".

Зміна власної частоти LC-контуру функціонально пов'язана зі зміною температури в контрольованому середовищі. Чутливим до температури елементом вимірювального контуру служить еквівалентна індуктивність. З підвищенням температури індуктивність "С-В" МДН-транзистора зростає, що призводить до зменшення резонансної частоти на виході автогенераторного вимірювального перетворювача. Отже, математична модель такого перетворювача може бути представлена:

$$T \rightarrow L_{\text{екв}} \rightarrow f. \quad (1)$$

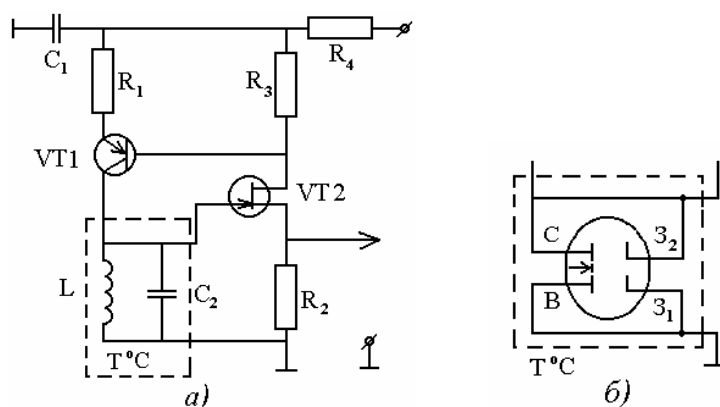


Рис. 1. Перетворювач температури з паралельним LC-контуром:  
а) – електрична принципова схема; б) – еквівалентний коливний контур



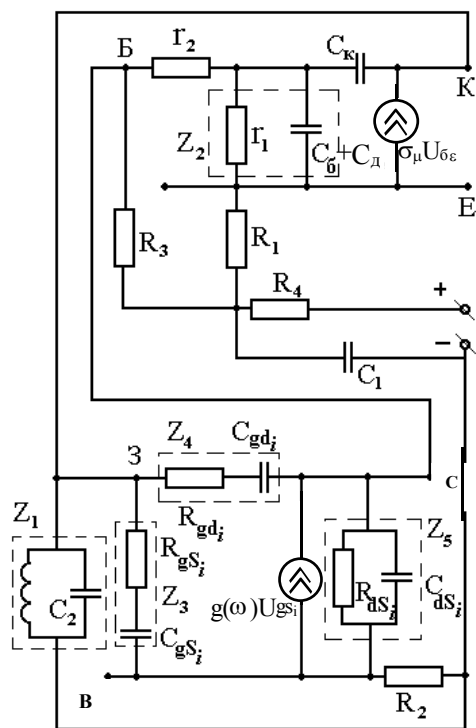


Рис. 2. Еквівалентна схема перетворювача температури

Умова збудження автогенераторного вимірювального перетворювача відповідно до методу Ляпунова знаходиться за лінійною еквівалентною схемою. Кількісно коло зворотного зв'язку оцінюється комплексними функціями – зворотною різницею  $\underline{F}$  і зворотним відношенням  $\underline{T}$ , які зв'язані між собою [7]:

$$\underline{T} = 1 - \underline{F}, \quad (2)$$

де

$$\underline{F} = \underline{\Delta} / \underline{\Delta}^0, \quad (3)$$

$\underline{\Delta}$  – визначається за рівняннями контурних струмів, отриманими за еквівалентною схемою автогенераторного вимірювального перетворювача,  $\underline{\Delta}^0$  – визначається за рівняннями контурних струмів за еквівалентною схемою автогенераторного вимірювального перетворювача при розірваному колі зворотного зв'язку.

Для визначення комплексних функцій  $\underline{F}$  (2) та  $\underline{T}$  (3) спростимо отриману схему до вигляду (рис.3), зручного для проведення розрахунків за методом контурних струмів.

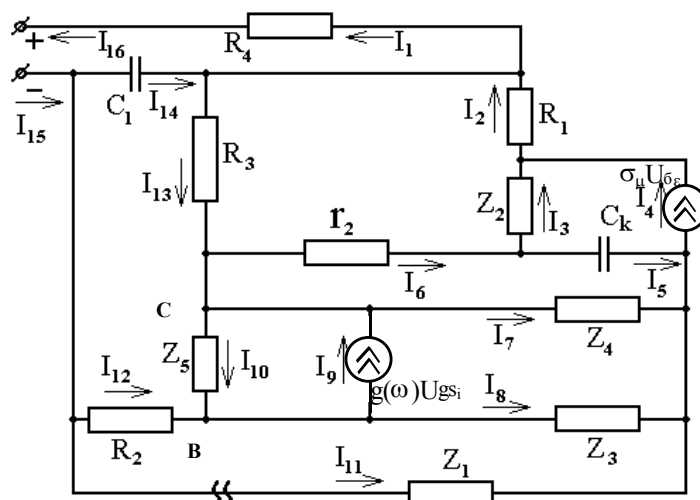


Рис. 3. Спрощена еквівалентна схема перетворювача температури

Запишемо систему лінійних рівнянь, що відповідають цій схемі через ділянкові струми. Вона матиме вигляд:

$$\begin{cases} R_4 I_1 + X_1 I_{14} = U; \\ r I_4 + X_k I_5 - Z_2 I_3 = 0; \\ Z_2 I_3 + R_1 I_2 + r_2 I_6 - R_3 I_{13} = 0; \\ Z_1 I_{14} + R_3 I_{13} + Z_5 I_{10} - R_2 I_{12} = 0; \\ Z_4 I_7 - X_k I_5 - r_2 I_6 = 0; \\ Z_5 I_{10} + r I_9 = 0; \\ Z_3 I_8 - Z_4 I_7 - r I_9 = 0; \\ Z_1 I_{11} - Z_3 I_8 - R_2 I_{12} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

де  $X_1 = \frac{1}{j\omega C_1}$ ;  $X_k = \frac{1}{j\omega C_k}$ ;  $r_\mu = \frac{1}{\delta_\mu}$ ;  $r_\omega = \frac{1}{g(\omega)}$ .

Виразимо ділянкові струми через контурні і перетворивши систему рівнянь (4), отримаємо таку

систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} (R_4 + X_1)I_{k1} + X_1I_{k4} = U; \\ (r + X_k + Z_2)I_{k2} - Z_2I_{k3} - X_kI_{k5} = 0; \\ - Z_2I_{k2} + (Z_2 + R_1 + r_2 - R_3)I_{k3} - R_3I_{k4} - r_2I_{k5} = 0; \\ X_1I_{k1} + R_3I_{k3} + (X_1 + R_3 + Z_5 + R_2)I_{k4} + Z_5I_{k6} + R_3I_{k8} = 0; \\ - X_kI_{k2} - r_2I_{k3} + (Z_4 + X_k + r_2)I_{k5} - Z_4I_{k7} = 0; \\ Z_5I_{k4} + (Z_5 + r)I_{k6} - rI_{k7} = 0; \\ - Z_4I_{k5} - rI_{k6} + (Z_3 + Z_4 + r)I_{k7} - Z_3I_{k8} = 0; \\ R_2I_{k4} - Z_3I_{k7} + (Z_1 + R_2 + Z_3)I_{k8} = 0. \end{array} \right. \quad (5)$$

Отриманій системі рівнянь може бути поставлена у відповідність матриця  $\Delta_a$ , головний визначник якої  $\Delta_a$  матиме вигляд:

$$\Delta_a = \begin{vmatrix} a_{11} & 0 & 0 & a_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 & a_{25} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & 0 & 0 & 0 \\ a_{41} & 0 & a_{43} & a_{44} & 0 & a_{46} & 0 & a_{47} \\ 0 & a_{52} & a_{53} & 0 & a_{55} & 0 & a_{57} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{64} & 0 & a_{66} & a_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{75} & a_{76} & a_{77} & a_{78} \\ 0 & 0 & 0 & a_{84} & 0 & 0 & a_{87} & a_{88} \end{vmatrix} = a_{11} \cdot a_{22} \cdot a_{33} \cdot a_{44} \cdot a_{55} \cdot a_{66} \cdot a_{77} \cdot a_{88}, \quad (6)$$

де  $a_{ij}$  – не рівні нулю елементи зазначеної матриці.

Якщо для схеми перетворювача (рис.3), розірвати коло зворотного зв'язку у зазначеному місці, то отримаємо систему рівнянь, якій відповідатиме матриця  $\Delta_b$ , головний визначник якої  $\Delta_b$  запишеться у вигляді:

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} b_{11} & 0 & 0 & b_{14} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & b_{23} & 0 & b_{25} & 0 & 0 \\ 0 & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} & 0 & 0 \\ b_{41} & 0 & b_{42} & b_{44} & 0 & b_{46} & 0 \\ 0 & b_{52} & b_{53} & 0 & b_{55} & 0 & b_{57} \\ 0 & 0 & 0 & b_{64} & 0 & b_{66} & b_{67} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_{75} & b_{76} & b_{77} \end{vmatrix} = b_{11} \cdot b_{22} \cdot b_{33} \cdot b_{44} \cdot b_{55} \cdot b_{66} \cdot b_{77}, \quad (7)$$

де  $b_{mn}$  – не рівні нулю елементи зазначеної матриці.

Неважно переконатись, що  $a_{11} = b_{11}$ ,  $a_{22} = b_{22}$ ,  $a_{33} = b_{33}$ ,  $a_{44} = b_{44}$ ,  $a_{55} = b_{55}$ ,  $a_{66} = b_{66}$ ,  $a_{77} = b_{77}$ .

Таким чином зворотна різниця згідно (3) з урахуванням (5), (6), (7) може бути представлена:

$$\underline{F} = \frac{\Delta}{\Delta^o} = \frac{\Delta_a}{\Delta_b} = a_{88} = Z_1 + R_2 + Z_3. \quad (8)$$

Зворотне відношення відповідно до (2) з урахуванням (8) матиме вигляд:

$$\underline{T} = 1 - \underline{F} = 1 - Z_1 - R_2 - Z_3. \quad (9)$$

Представимо  $Z_1$ ,  $Z_3$  згідно еквівалентної схеми (рис. 2):

$$Z_1 = \frac{j\omega L_x}{1 - \omega^2 C_2 L_x}, \quad (10)$$

$$Z_3 = R_{gd_i} + \frac{1}{j\omega C_{gS_i}}.$$

Прийнявши до уваги (10), перепишемо (9):

$$\underline{T} = 1 - \frac{j\omega L_x}{1 - \omega^2 C_2 L_x} - R_2 - R_{gd_i} - \frac{1}{j\omega C_{gS_i}}. \quad (11)$$

Як уже було зазначено вище, умова балансу фаз автогенератора буде виконуватись на частоті, на якій

уявна складова функції  $T$  рівна нулю. Виділивши у (11) уявну складову та прирівнявши її до нуля, визначимо значення частоти коливань досліджуваного автогенераторного вимірювального перетворювача:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_x(C_{gsi} + C_2)}} \quad (12)$$

де  $C_{gsi}$  – ємність між затвором та витоком польового транзистора ( $2 \cdot 10^{-12}$ Ф);  $C_2$  – міжзатворна ємність двозатворного транзистора КП327А еквівалентного коливного контуру ( $2,4 \cdot 10^{-12}$ Ф);  $L_x$  – еквівалентна індуктивність коливного контуру.

Враховуючи особливості ввімкнення двозатворного транзистора у приведеній схемі автогенераторного вимірювального перетворювача, скористаємося моделлю індуктивності для випадку  $U_3 < 0$ . В результаті отримаємо:

$$\omega = \left[ \frac{(ablkT)^2 - 2ablkTqD_n\rho_oCU_3 + (qD_n\rho_oCU_3)^2}{\rho_o l^2 qD_nCU_3kT\tau_n(C_{gsi} + C_2) - (q\rho_oD_nCU_3\tau_n)^2} \right]^{1/2}$$

або

$$f = \frac{\alpha^2 T^2 - 2\alpha\beta T + \beta^2}{2\pi(\beta\gamma T - (\beta\tau_n)^2)} \quad (13)$$

де  $\alpha = ablk = 0,28 \cdot 10^{-41} \text{ м}^5 \cdot \text{кг} / (\text{К} \cdot \text{с}^2)$ ;  $\beta = qD_n\rho_oCU_3 = 9,63 \cdot 10^{-39} \text{ А} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}$  (при  $U_3 = 1\text{В}$ );  $\gamma = \rho_o l^2 \tau_n (C_{gsi} + C_2)k = 8,74 \cdot 10^{-57} \text{ м}^5 \cdot \text{кг} / \text{К}$ .

Порівняння результатів розрахунку з експериментом виявило збіг у межах  $\pm 5\%$  (рис. 4).

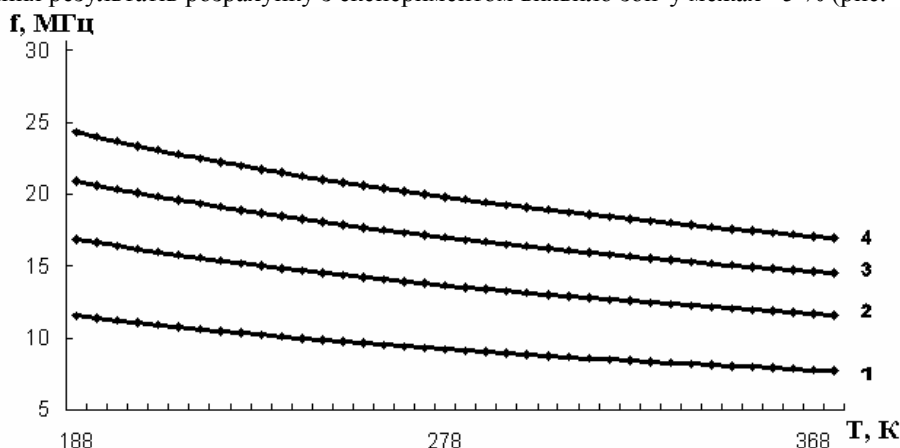


Рис. 4. Залежності вихідної частоти автогенераторного вимірювального перетворювача для різних значень напруг зміщення на затворі: 1–  $U_3=1\text{В}$ ; 2–  $U_3=2\text{В}$ ; 3–  $U_3=3\text{В}$ ; 4–  $U_3=4\text{В}$

Як видно з графіків, існує певне значення напруги зміщення на затворі ( $U_3=1\text{В}$ ), при якій відповідна залежність носить лінійний характер. При цій напрузі температурна залежність чутливості  $\frac{\partial f}{\partial T}$  перетворювача матиме вигляд (рис. 5).

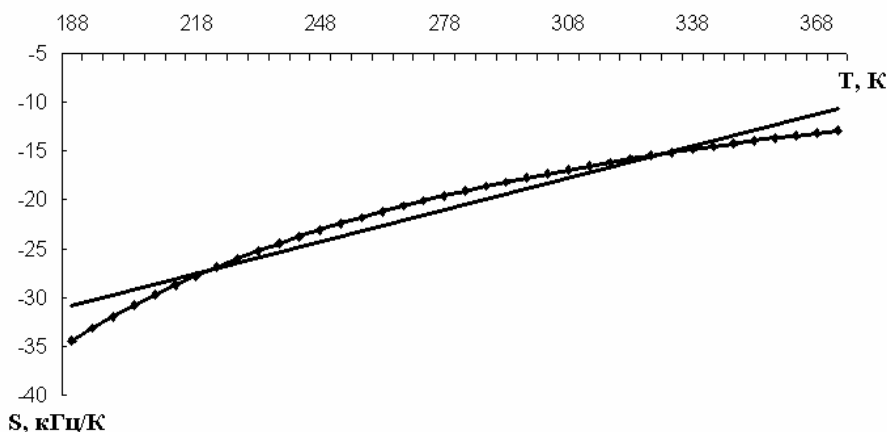


Рис. 5. Теоретична (—) та експериментальна (---) температурна залежності чутливості автогенераторного вимірювального перетворювача

### Висновки

Показана можливість прямого перетворення температури в частоту на основі гібридної інтегральної схеми, в якій термочутливий коливальний контур побудований на основі двозатворного МДН-транзистора. Отримано аналітичну залежності функції перетворення і проведені експериментальні дослідження. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість перетворювача лежить у діапазоні від 12 кГц/К до 32 кГц/К.

### Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин / За ред. З.Ю. Готри: В 3 томах. – Т.2. – Львів: Ліга-Прес, 2003. – 595 с.
2. Поскачей А.А., Чубаров Е.П. Оптико-електронные системы измерения температуры. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 248 с.
3. Новицкий П.В., Кноринг В.Г., Гутников В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. – Л.: Энергия, 1970. – 424 с.
4. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
5. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. – 303 с.
6. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Вербицкий В.Г. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 195 с.
7. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники. – М.: Высшая школа, 1988. – 464с.

Надійшла 18.10.2006 р.

УДК 53.093.08: 681.586.5

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики имени В.М.Глушкова НАН Украины,

Л.А. СОРОКИНА

Хмельницкий национальный университет

## ИЗБЫТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Работа посвящена созданию и исследованию метода избыточных измерений и соответствующего технического решения измерителя влажности оптически прозрачных листовых материалов*

### Введение

Влажность – важнейший параметр, характеризующий качество выпускаемых материалов, изделий и т.д., поскольку содержание влаги в веществе или материале определяет его физические свойства – тепловые, оптические, механические, электрофизические и т.д. Высокоточное измерение влажности выпускаемой продукции по-прежнему является актуальной задачей. Одним из перспективных направлений бесконтактного и помехозащищенного измерения влажности является оптическая влагометрия [1]. В ее основу положено свойство воды поглощать ИК-излучение определенной длины волны. Наличие свойственных воде полос поглощения в ИК-области оптического диапазона позволяет разработать влагомеры для различных оптически прозрачных материалов.

В настоящее время, наряду с прямыми и косвенными методами измерений ФВ, развиваются и методы избыточных измерений (МИИ) [2]. МИИ – это методы, представляющие собой конечную совокупность прямых измерений как контролируемой ФВ, так и нескольких рядов однородных и/или сопряженных с контролируемой корректирующих ФВ, из которых размеры одних рядов закономерно связаны только между собой, а других – с контролируемой ФВ, с последующей обработкой результатов промежуточных измерений согласно априори выведенного уравнения избыточных измерений. При этом прямые измерения ФВ осуществляются как при неизменных, так и при нормировано измененных размерах параметров функции преобразования (ФП) сенсора или измерительного канала (ИК) в целом.

**Объект и предмет исследований.** Объектом исследований является процесс избыточных измерений влажности оптически прозрачных листовых материалов в ИК-диапазоне длин волн. Предметом исследований является изучение возможностей МИИ по исключению влияния внешних дестабилизирующих факторов на результат измерений.

**Постановка задачи (цель статьи).** В работе поставлена и решается задача исследования метода избыточных измерений влажности оптически прозрачных материалов, например, бумаги, который, при его реализации, обеспечивал бы: повышение точности измерений при временной и температурной нестабильности параметров ФП ИК; исключение влияния на результат измерений не только систематических, но и случайных

составляющих погрешности результата измерений; исключение влияния на результат измерений коэффициента рассеивания и абсолютного значения толщины исследуемого материала и др.

**Обсуждаемые результаты.** Известно, что поглощение мощности потока оптического излучения (ПОИ) осуществляется согласно закону Ламберта-Бугера-Бера [2]. В этом случае ФП ИК может быть записана следующим образом

$$U_x = S'_л \Phi_0 e^{-(\alpha_b C_x + \alpha_{ц}(1-C_x) + k_p) l_e} + \Delta U_{см}, \quad (1)$$

где  $\Phi_0$  – нормированный по значению мощности ПОИ с длиной волны  $\lambda$ , который поступает на влажный материал;  $\alpha_b$  – коэффициент поглощения воды на длине волны  $\lambda$ ;  $\alpha_{ц}$  – коэффициент поглощения материала на длине волны  $\lambda$ ;  $C_x$  – концентрация влаги;  $k_p$  – коэффициент рассеивания;  $l_e$  – эффективная толщина материала неизвестной влажности.

**Математическая модель МИИ влажности оптически прозрачных листовых материалов.** Математическая модель строится исходя из предположения, что ФП ИК с фотоприемником линейная. Среди возможных вариантов построения математической модели МИИ нами выбран вариант, основанный на дополнительных измерениях мощности ПОИ, прошедшего через материал с нормированным значением влажности  $C_{в0}$  и с влажностью  $C_{в0} + C_{вх}$ . Кроме того, дополнительно формируется и измеряется нулевая по размеру мощность потока оптического излучения. Проведение данной измерительной операции необходимо для определения действительного значения дрейфа нуля измерительного канала. В практике измерений других ФВ данная операция соответствует измерению бесконечно большой по размеру измеряемой величины. Поскольку „бесконечной” по размеру влажности не существует, – она ограничена 100 %, то обходится введением операции измерения дрейфа нуля.

Выбранный вариант математической модели МИИ влажности листового материала представляет собой систему из четырех линейных уравнений величин:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_л \Phi_{00} e^{-(\alpha_b C_x + \alpha_{ц}(1-C_x) + k_p) l_e} + \Delta U_{см} = \Delta U_{см}, \\ U_2 &= S'_л \Phi_0 e^{-(\alpha_b C_{в0} + (1-C_{в0}) + k_p) l_e} + \Delta U_{см}, \\ U_3 &= S'_л \Phi_0 e^{-(\alpha_b (C_{вх} + C_{в0}) + \alpha_{ц}(1-C_{вх} - C_{в0}) + k_p) l_e} + \Delta U_{см}, \\ U_4 &= S'_л \Phi_0 e^{-(\alpha_b C_{вх} + \alpha_{ц}(1-C_{вх}) + k_p) l_e} + \Delta U_{см} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

и уравнение избыточных измерений влажности листового материала

$$C_{вх} = C_{в0} \frac{\ln(U_3 - U_1) - \ln(U_2 - U_1)}{\ln(U_3 - U_1) - \ln(U_4 - U_1)}, \quad (3)$$

где  $C_{0в}$  – нормированное значение влажности образца оптически прозрачного материала;  $U_1, U_2, U_3$  и  $U_4$  – напряжения, зависящие от значения мощности ослабленного ПОИ  $\Phi_{00}$ , где  $\{\Phi_{00}\} = 0$ ,  $\Phi_0$  и  $\Phi_k$ , влажности материала  $C_{вх}$ , коэффициентов поглощения влаги и материала ( $\alpha_b$  и  $\alpha_{ц}$ ) на выбранной длине волны  $\lambda_0$  ПОИ (см. (1)), коэффициента рассеивания  $k_p$ , эффективной толщины исследуемого материала  $l_e$  и дрейфа нуля ИК.

Математическая модель ((2) и (3)) создаваемого МИИ характеризует последовательность проведения во времени операций измерений ФВ, характеризует условия, при которых проводятся измерения, а также описывает порядок обработки результатов промежуточных измерений напряжений с целью получения действительного значения влажности листового материала.

**Сущность МИИ влажности бумаги.** Рассмотрим сущность МИИ влажности оптически прозрачных листовых материалов, описываемого приведенной выше математической моделью. Как было указано, ФП ИК с фотоприемником является линейной и описывается уравнением величин вида

$$U_x = S'_л \Phi_x + \Delta U_{см}, \quad (4)$$

де  $\Phi_x$  – световой поток, который поступает на фотоприемник;  $U_x$  – выходное напряжение ИК;  $\Delta U_{см}$  – напряжение смещения ИК;  $S'_л = S'_л (1 + \gamma'_л)$  – крутизна преобразования ИК с учетом воздействия дестабилизирующих факторов, а также их изменений во времени;  $S'_л$  – номинальная по значению крутизна ФП фотоприемника;  $\gamma'_л$  – отклонение крутизны ФП фотоприемника от номинальных значений, вызванное влиянием на фотоприемник дестабилизирующих факторов и их изменением во времени.

Априори, до проведения измерений, осуществляется процесс калибровки выходной мощности ПОИ источника оптического излучения (ИОИ) с целью получения на его выходе ПОИ заданной мощности:  $\Phi_0$  или  $\Phi_k$ .

Для этого необходимо определить напряжения питания, при которых ИОИ будет генерировать ПОИ мощностью  $\Phi_0$  или  $\Phi_k$ . Если  $\Phi_0$  – нормированная по значению мощность входного ПОИ, прикладываемая к объекту исследований через подводящий световод, то  $\Phi_k$  – мощность ПОИ, который прошел через образец

листового матеріала с нормированным значением влажности  $C_{в0}$ .

Процесс калибровки мощности ПОИ ИОИ осуществляется при наперед заданном (или расчетном) значении мощности потока  $\Phi_0$ , генерируемого данным источником при заданных напряжении питания  $U_{п1}$  и диапазоне входных оптических сигналов фотоприемника.

При мощности ПОИ  $\Phi_0$ , прошедшего через образец материала с нормированной по значению влажностью  $C_{в0}$  и ее преобразования в электрический сигнал, получают напряжение

$$U_k = S'_л \Phi_0 e^{-(\alpha_{в} C_{в0} + \alpha_{ц} (1 - C_{в0}) + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{см} = S'_л \Phi_k + \Delta U_{см}, \quad (5)$$

пропорциональное мощности  $\Phi_k$  ослабленного ПОИ. Значение результата измерений (5) запоминается.

После этого образец материала извлекается из подводящего и принимающего оптических волокон. Затем, соединив световоды по их оптическим осям, ПОИ направляется непосредственно на фото-приемник. Изменяют (обычно уменьшают) напряжение  $U_{п1}$  питания ИОИ до значения  $U_{п2}$ , при котором на выходе ИК установится тоже значение напряжения (5), как и при наличии образца листового материала с заданной влажностью  $C_{в0}$ . Полученное значение напряжения питания  $U_{п2}$  запоминается.

Как отмечалось выше, калибровка ИОИ осуществляется для того, чтобы при осуществлении дальнейших тактов измерений влажности материала можно было точно знать, при каких значениях напряжений питания ИОИ можно сформировать заданные по мощности ПОИ  $\Phi_0$  и  $\Phi_k$ .

Сущность метода избыточных измерений состоит в следующем. Рулонный или иной материал неизвестной влажности устанавливается между подводящим и принимающим оптическими волокнами перпендикулярно их оптическим осям. ПОИ, прошедший через влажный материал ослабляется, согласно закону Ламберта-Бугера-Бера, по экспоненциальному закону.

Согласно разработанной математической модели (см. аналитические выражения (2) и (3)) процесс избыточных измерений состоит из четырех тактов измерений мощности ПОИ, прошедшего через измерительный канал с подводящими и отводящими световодами и фотоприемником, и одного такта обработки результатов промежуточных измерений согласно уравнению избыточных измерений.

Вначале, при отсутствии исследуемого листового материала между подводящим и принимающим волокнами, измеряется выходное напряжение ИК при заданной длине волны ПОИ нулевой мощности, т.е. при  $\{\Phi_0\} = \{\Phi_{00}\} = 0$ . Запоминается значение полученного напряжения

$$U_1 = S'_л \Phi_{00} e^{-(\alpha_{в} C_{в0} + \alpha_{ц} (1 - C_{в0}) + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{см} = \Delta U_{см}, \quad (6)$$

де  $\Delta U_{см}$  – напряжение смещения функции преобразования.

Затем, путем изменения напряжения питания с  $U_{п1}$  на  $U_{п2}$ , устанавливается мощность ПОИ на выходе ИОИ равной  $\Phi_k$ . В результате на выходе ИК (при отсутствии исследуемого листового материала между подводящим и принимающим волокнами) появляется напряжение

$$U_2 = S'_л \Phi_k + \Delta U_{см} = S'_л \Phi_0 e^{-(\alpha_{в} C_{в0} + \alpha_{ц} (1 - C_{в0}) + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{см}, \quad (7)$$

которое сравнивается с напряжением  $U_k$  (5), полученным при проведении калибровки. Если данные напряжения совпадают по значению, то значение напряжения (7) запоминается. В том случае, когда значение полученного напряжения (7) будет отличаться от  $U_k$  (например, в результате старения элементов ИОИ), плавно изменяют напряжение питания  $U_{п2}$  ИОИ до значения  $U'_{п2}$ , при котором это равенство наступает. Это соответствует установлению значения мощности

$$\Phi_k = \Phi_0 e^{-(\alpha_{в} C_{в0} + \alpha_{ц} (1 - C_{в0}) + k_p) \cdot l_e}, \quad (8)$$

ПОИ на выходе ИОИ равное мощности ПОИ, прошедшего через образец листового материала с заданной влажностью.

Далее, между подводящим и принимающим волокнами устанавливается исследуемый материал с неизвестной влажностью  $C_{вх}$ . Через него пропускается ПОИ мощностью  $\Phi_k$  (3.8). Измеряется мощность ослабленного ПОИ, прошедшего через исследуемый материал с неизвестной влажностью  $C_{вх}$ . Значение полученного напряжения

$$U_3 = S'_л \Phi_k e^{-(\alpha_{в} C_{вх} + \alpha_{ц} (1 - C_{вх}) + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{см}, \quad (9)$$

запоминается.

После этого устанавливается начальное значение мощности  $\Phi_0$  ПОИ. Это осуществляется путем подачи на ИОИ первоначального напряжения  $U_{п1}$ . В результате вместо ПОИ мощностью  $\Phi_k$  формируется нормированный по мощности ПОИ  $\Phi_0$ . Данный поток пропускается через исследуемый листовой материал с неизвестной влажностью. В очередной раз измеряется мощность ослабленного ПОИ. Значение полученного в результате измерений напряжения

$$U_4 = S'_л \Phi_0 e^{-(\alpha_{в} C_{вх} + \alpha_{ц} (1 - C_{вх}) + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{см} \quad (10)$$

также запоминается.

После проведение данной операции измерений определяется действительное значение влажности оптически прозрачного листового материала согласно уравнению избыточных измерений (3).

В результате исследований установлено, что обработка результатов промежуточных измерений (6), (7), (9) и (10) по уравнению избыточных измерений (3), обеспечивает исключение аддитивной и мультипликативной составляющих систематической погрешности измерений, т.е. автоматическую коррекцию систематических погрешностей. Кроме того, описанный МИИ обеспечивает повышение точности измерений при любых значениях параметров ФП ИК; повышение точности измерения при временной и температурной нестабильности параметров ФП ИК; исключение влияния на результат измерений коэффициента рассеивания; исключения влияния на результат измерений влажности абсолютного значения плотности и толщины листового материала, при условии, что образец материала заданной влажности  $C_{в0}$  создается из исследуемого материала.

Указанные преимущества метода легко доказать, если в уравнение избыточных измерений (3) подставить аналитические выражения для напряжений (6), (7), (9) и (10) и провести соответствующие сокращения. Практически, благодаря выполнению первый двух тактов измерений один раз в час или в смену, процесс определения влажности листового материала будет включать в себя два тактов измерений, при разных значениях мощности потока оптического излучения, и один такт обработки результатов промежуточных измерений.

Таким образом, поставленная техническая задача решается благодаря использованию МИИ влажности оптически прозрачных листовых материалов.

**Техническое решение цифрового измерителя влажности листового материала**, например, бумаги. На основе описанного МИИ разработано техническое решение цифрового измерителя влажности (ЦИВ) оптически прозрачных листовых материалов, структурная схема которого приведена на рис. 1.

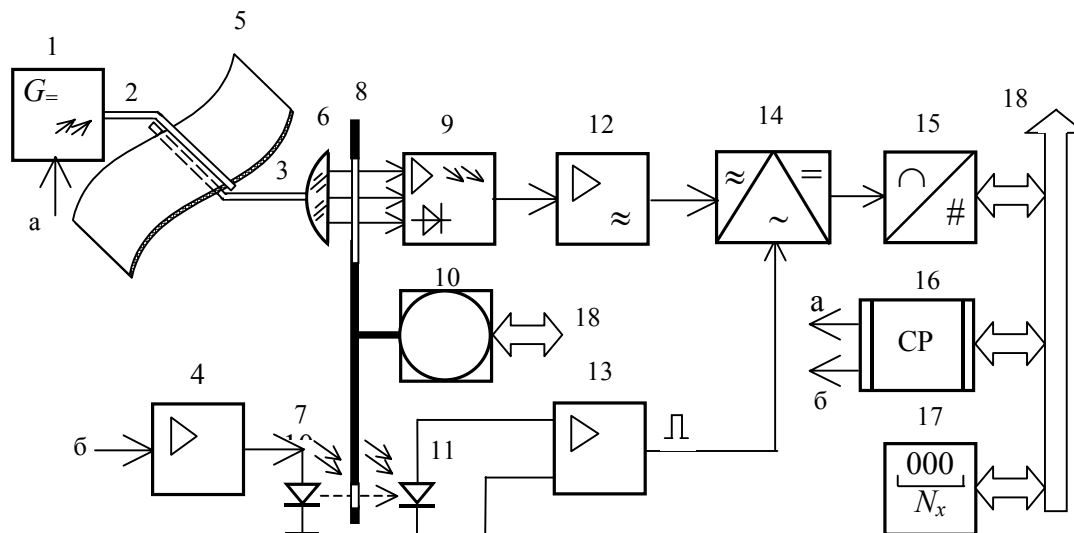


Рис. 1. Структурная схема цифрового измерителя влажности листовых материалов

На рис. 1 используются следующие обозначения: 1 – ИОИ с длиной волны  $\lambda_0$ ; 2 – передающее оптическое волокно, подводящее ПОИ к листовому материалу; 3 – приемное оптическое волокно, отводящее ослабленный ПОИ, который прошел через исследуемый материал, к фотоприемнику; 4 – источник питания; 5 – оптически прозрачный листовый материал неизвестной влажности; 6 – линза; 7 – светодиод; 8 – обтюрационный диск; 9 – фотоприемник; 10 – синхронный двигатель; 11 – фотодиод; 12 – селективный усилитель; 13 – усилитель-формирователь синхроимпульсов; 14 – синхронный детектор; 15 – аналого-цифровой преобразователь; 16 – микроконтроллер с блоками оперативной памяти и перепрограммируемой постоянной памяти; 17 – цифровое отсчетное устройство; 18 – общая шина.

Сущность работы ЦИВ состоит в следующем. После включения прибора включаются питание 1 ИОИ, источника 4 питания светодиода 7 и синхронного двигателя 10 по команде с микроконтроллера 16, а также всех других функциональных блоков 9, 12-17.

Цифровое отсчетное устройство 17 обнуляется. Синхронный двигатель 10 начинает вращать обтюрационный диск 8 с заданной частотой  $\Omega$ , которая задается по команде с микроконтроллера 16. На вход управления синхронного детектора 14 с выхода усилителя-формирователя 13 синхроимпульсов поступают импульсы синхронизации с частотой следования  $\omega$ . Передающее и приемное оптические волокна соединены между собой, поскольку до начала измерений листовый материал с неизвестной влажностью не установлен между указанными оптическими волокнами.

Процесс измерений влажности бумаги состоит из измерений разных мощностей ПОИ на заданной длине волны и одного такта обработки результатов промежуточных измерений. В первом такте с источника 1

ПОИ с длиной волны  $\lambda_0 \pm \Delta\lambda$  на передающее оптическое волокно 2 не поступает. Поэтому в первом такте на вход фотоприемника 9 поступает ПОИ нулевой мощности или мощности, близкой к нулевому значению. Не нулевое значение мощности ПОИ имеет место при попадании внешнего светового потока на фотоприемник 9 или на приемное оптическое волокно 3, например, при плохой световой герметизации входа фотоприемника 9.

В первом такте измеряется и преобразуется в код числа  $N_1$ , выходное напряжение  $U_1$  (6) ИК при указанных (нулевом или близком к нулевому) значениях ПОИ. Результат измерения

$$N_1 = S_a U_1 + \Delta N_a, \quad (11)$$

де  $S_a$  и  $\Delta N_a$  – крутизна преобразования и аддитивная погрешность аналого-цифрового преобразователя 15, а  $U_1$  – напряжение (6), в виде кода числа  $N_1$  поступает в оперативную память микроконтроллера 16 и запоминается.

Далее, по команде с микроконтроллера 16, на ИОИ 1, подается напряжение питания  $U_{п2}$ , при котором устанавливается значение мощности  $\Phi_k$  (8) ПОИ с заданной длиной волны  $\lambda_0$ . При данном значении напряжении питания ИОИ 1 получают напряжение  $U_2$  (7), которое, как было указано выше, соответствует прохождению потока  $\Phi_0$  оптического излучения через образец материала с нормированной влажностью  $C_{в0}$ . Данное напряжение в виде кода числа

$$N_2 = S_a U_2 + \Delta N_a \quad (12)$$

было записано в постоянную память микроконтроллера 16 после осуществления процесса калибровки.

При установленном значении мощности  $\Phi_k$  (8) ПОИ осуществляется следующий такт измерений. ПОИ мощностью  $\Phi_k$  проходит через материал с неизвестной влажностью  $C_{вх}$ . Напряжение  $U_3$  (9), полученное в результате измерения мощности ослабленного ПОИ, с помощью аналого-цифрового преобразователя 15 преобразуется в код числа

$$N_3 = S_a U_3 + \Delta N_a, \quad (13)$$

который запоминается в оперативном запоминающем устройстве микроконтроллера 16.

Затем, по команде с микроконтроллера 16, устанавливается начальное значение напряжения  $U_{п1}$  ИОИ 1, при котором устанавливается первоначальное значение мощности  $\Phi_0$  ПОИ с заданной длиной волны  $\lambda_0$ .

В последнем такте измеряется мощность ПОИ, который прошел через исследуемый листовой материал при заданной мощности  $\Phi_0$  ПОИ. В результате измерений на выходе синхронного детектора 14 появится напряжение  $U_4$  (10), которое с помощью аналого-цифрового преобразователя 15 преобразуется в код числа

$$N_4 = S_a U_4 + \Delta N_a. \quad (14)$$

Данный код числа также запоминается в оперативном запоминающем устройстве микроконтроллера 16.

Для определения действительного значения влажности листового материала результаты промежуточных измерений обрабатываются согласно уравнению числовых значений

$$N_{C_{вх}} = \{C_{в0}\} \frac{\ln(N_3 - N_1) - \ln(N_2 - N_1)}{\ln(N_3 - N_1) - \ln(N_4 - N_1)}, \quad (15)$$

которое соответствует уравнению избыточных измерений (3).

Результат вычислений (15), т.е. действительное значение влажности оптически прозрачного листового материала, отображается на цифровом отсчетном устройстве 17.

На рис. 2 приведен второй, более простой вариант технического решения ЦИВ материалов (с теми же обозначениями функциональных блоков, что и на рис. 1), но с источником 1 модулированного оптического излучения и цифро-аналоговом преобразователем 19.

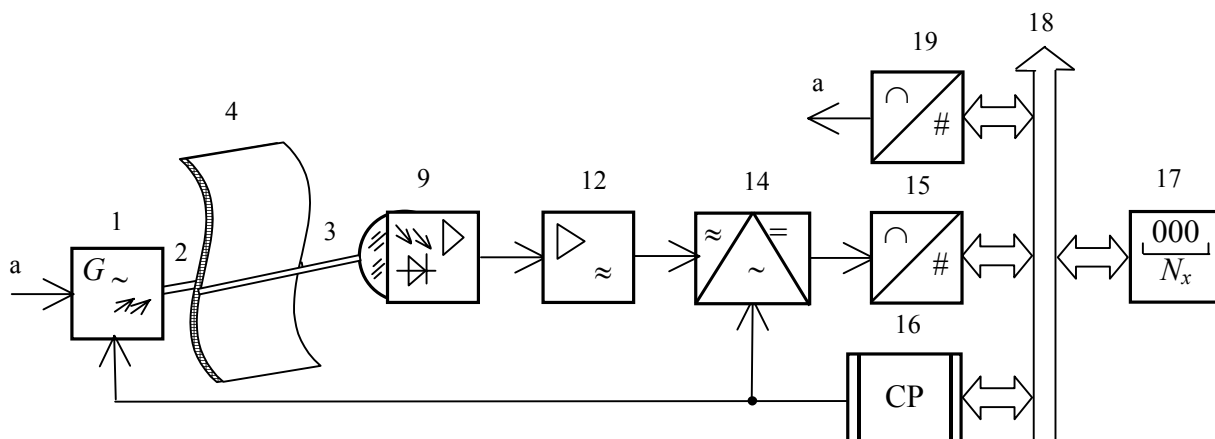


Рис. 2. Структурная схема цифрового измерителя влажности листовых материалов с источником модулированного оптического излучения



Данный ЦИВ материалов также как и ЦИВ, структурная схема которого приведена на рис. 1, обеспечивает исключение всех составляющих погрешностей результата измерений, в том числе и погрешностей аналого-цифрового преобразования. Погрешности определения действительного значения влажности листового материала данных измерителей зависят только от погрешности воспроизведения образца материала заданной влажности.

### Выводы

Созданы математическая модель и МИИ, обеспечивающие автоматическую коррекцию систематических составляющих погрешности определения влажности оптически прозрачных листовых материалов.

Разработаны технические решения двух ЦИВ с автоматической коррекцией погрешностей конечного результата измерений, реализующие описанный МИИ.

Показано, что за счет обработки результатов промежуточных измерений по предложенному уравнению числовых значений (15), ЦИВ обеспечивают исключение всех аддитивных и мультипликативных составляющих систематических погрешностей результатов измерений мощностей ПОИ, в том числе и погрешности аналого-цифрового преобразователя.

Установлено, что в предложенных технических решениях ЦИВ уменьшается и случайная составляющая погрешности за счет использования синхронного детектора 14 с фильтром нижних частот на его выходе. На результат измерений не влияют и значения коэффициентов рассеивания.

Как видно из приведенного уравнения числовых значений, погрешность измерения не зависит также и от погрешности воспроизведения ПОИ заданной мощности  $\Phi_0$ . Она зависит только от погрешности воспроизведения образца материала с заданной влажностью. Причем, на результат измерения влажности не влияет абсолютное значение толщины материала при условии, что образцовый материал с нормированной по значению влажностью изготавливается из исследуемого с использованием, например, термогравиметрического метода.

Таким образом, МИИ являются весьма перспективными в создании нового класса приборов для высокоточного измерения влажности.

### Литература

1. Мухитдинов М., Мусаев Э.С. Оптические методы и устройства контроля влажности. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 96 с.: ил. – (Б-ка по автоматике; Вып. 662).
2. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 7-24.

Надійшла 7.10.2006 р.

УДК 621.438

М.М. ЧЕПУРНИЙ, К.В. НІКІФОРОВА  
Вінницький національний технічний університет

## ЭФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГТУ-ТЕС

*Здійснено аналіз ефективності роботи газопарових установок бінарного типу на базі ГТУ, які працюють за утилізаційною схемою. Проаналізовано вплив основних чинників на ефективність їх роботи.*

### Вступ

Одним із перспективних напрямків економії паливних ресурсів є використання газопарових технологій [1-4]. В світовій практиці процеси створення і введення в дію високоефективних газопарових установок (ГПУ) спостерігаються вже не одне десятиріччя. В цьому плані Україна дуже повільно намагається освоювати прогресивні газопарові технології. На теперішній час внаслідок зниження рівня основного виробництва багато промислових підприємств зацікавлені в реалізації надлишкової енергопродукції. Для підвищення ефективності такого енергетичного бізнесу необхідна реконструкція або модернізація існуючих теплових електричних станцій (ТЕС), устаткування яких фізично і морально застаріле. Суттєвим фактором є також зростання цін на енергетичне паливо.

В зв'язку з вищевикладеним доцільною є реалізація концептуального положення: максимальне використання потенціалу конверсійних газотурбінних установок (ГТУ), які б працювали в складі ГПУ. Використання теплоти відпрацьованих в ГТУ газів для виробництва водяної пари в котлах-утилізаторах (КУ) передбачає створення газопарового циклу, який дозволяє збільшити електричну потужність базової установки (ГТУ) і суттєво зменшити питому витрату палива на виробництво електроенергії. В Росії, наприклад, пріоритетним напрямком модернізації енергетики на найближчі два десятиліття визнано масштабне використання ГПУ утилізаційного типу.

Однак така модернізація потребує певних інвестицій. Для порівняння ГПУ з газотурбінними електростанціями можна скористатись даними довідника «Gas Turbine World», де наводяться відомості про параметри і ціни на ГТУ і ГПУ в багатьох країнах світу. Ці дані свідчать про те, що для однакової електричної потужності коефіцієнти корисної дії (ККД) ГПУ перевищують ККД ГТУ в 1,5 рази, а за капітальними витратами вдвічі дорожче останніх. Тому зростання капітальних витрат на ГПУ може бути компенсоване тільки за рахунок економії палива. Зрозуміло, що конверсійні ГТУ вітчизняного виробництва, хоча за ефективністю і поступаються імпортованим, але їх вартість вдвічі дешевша. Враховуючи останнє, використання ГПУ на базі вітчизняних газотурбінних двигунів може виявитись цілком виправданим.

**Основний розділ**

В цьому зв'язку ставилась задача визначити показники роботи ГПУ, а також вплив ККД ГТУ і паротурбінних установок (ПТУ) на ефективність роботи ГПУ. Принципова схема ГПУ показана на рис. 1, де також позначені характерні параметри газового і парового контурів: тисків (P), температур (T), ентальпій (h).

Варіантні розрахунки ГПУ здійснювались за методикою, яка викладена в [3]. Вважалося, що в схемі ГПУ працюють найбільш прості котли-утилізатори, які генерують пару одного тиску, а також конденсаційні турбіни з водяним або повітряним охолодженням конденсатора. Тиск пари в конденсаторах першого типу складав 5 кПа, а в конденсаторах другого типу – 20 кПа. Різниця температур між відпрацьованими в ГТУ газами і парою на виході з КУ приймалась не менше 80 °С. Робочим паливом в ГТУ був природний газ із теплою згорання 33, 4 МДж/м<sup>3</sup>. Ефективність використання теплоти відпрацьованих в ГТУ газів оцінювалась за допомогою коефіцієнта утилізації теплоти:

$$\varphi = \eta_{ку} \cdot (1 - \eta_{гту}),$$

де  $\eta_{ку}$  – ККД котла – утилізатора;  $\eta_{гту}$  – ККД газотурбінної установки.

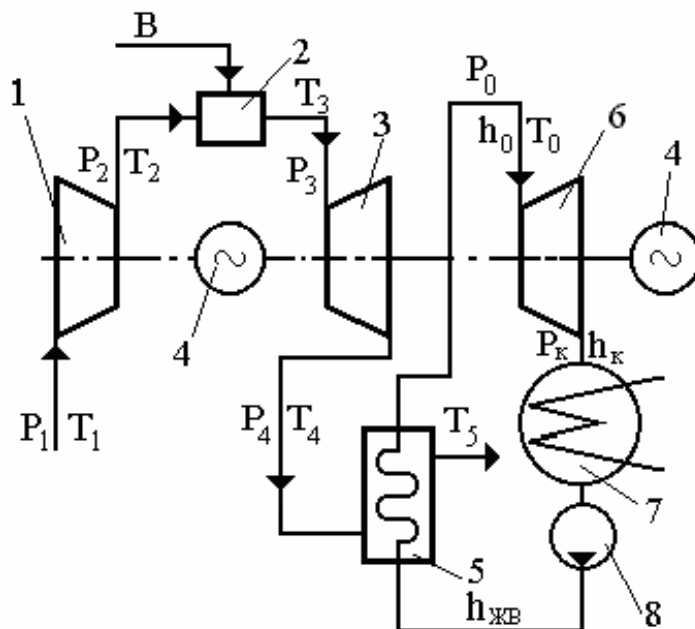


Рис. 1. Принципова схема ГТУ-ТЕС: 1 – компресор; 2 – камера згорання; 3 – газова турбіна; 4 – електрогенератор; 5 – котел-утилізатор; 6 – парова турбіна; 7 – конденсатор; 8 – насос

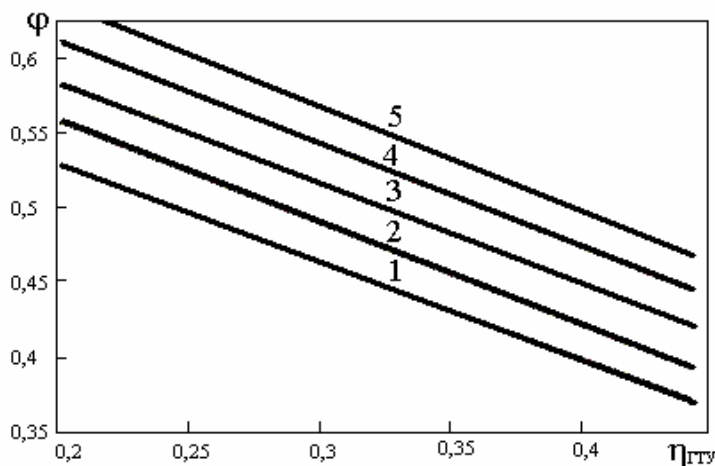


Рис. 2. Значення коефіцієнта утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ газів 1 –  $\eta_{ку} = 0,72$ ; 2 –  $0,74$ ; 3 –  $0,76$ ; 4 –  $0,78$ ; 5 –  $0,80$

На рис. 2 наведені розрахункові значення коефіцієнта утилізації  $\phi$ , із якого видно, що утилізаційна ефективність використання теплоти відпрацьованих газів підвищується за збільшенням  $\eta_{\text{ГТУ}}$  і зменшенням  $\eta_{\text{ПТУ}}$ . Останнє пояснюється тим, що зі збільшенням ККД ГТУ зменшується питома потужність відпрацьованих газів. Наявність залежностей  $\phi = f(\eta_{\text{ГТУ}}, \eta_{\text{ПТУ}})$  дає можливість спростити визначення поточних значень для потужності та ККД ГПУ.

Залежності зміни поточних значень потужності ПТУ для одиничної потужності ГТУ ( $N_{\text{ГТУ}} = 1$  МВт) показані на рис. 3, де  $\eta^* = \eta_{\text{ГТУ}} / \eta_{\text{ПТУ}}$ ;  $\eta_{\text{ПТУ}}$  – ККД паротурбінної установки. Із рис. 3 видно, що потужність паротурбінного циклу  $N_{\text{ПТУ}}$  може складати від 35 до 60 % від потужності ГТУ. Найбільші потужності ПТУ досягаються при менших значеннях  $\eta^*$  і більших значеннях  $\phi$ , тобто коли  $\eta_{\text{ГТУ}} < \eta_{\text{ПТУ}}$ . Зі збільшенням  $\eta^*$  ( $\eta_{\text{ГТУ}} > \eta_{\text{ПТУ}}$ ), як уже зазначалось раніше, зменшується утилізаційна спроможність відпрацьованих в ГТУ газів, а, отже, і електрична потужність ПТУ.

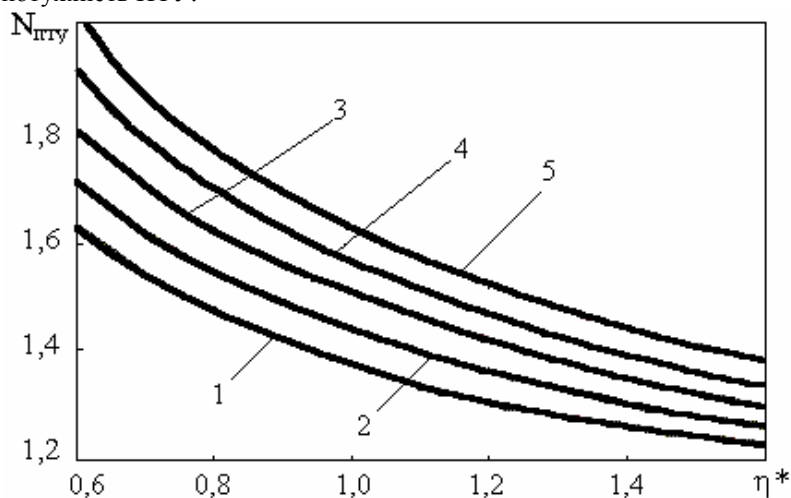


Рис. 3. Графік залежності електричної потужності ГПУ від  $\eta^*$  та коефіцієнта утилізації 1 –  $\phi = 0,40$ ; 2 –  $0,45$ ; 3 –  $0,50$ ; 4 –  $0,55$ ; 5 –  $0,60$

Для визначення поточних значень ККД газопарового циклу побудована номограма, яка показана на рис. 4. За допомогою цієї номограми легко з'ясувати як впливають ККД ГТУ і ККД ПТУ на ККД ГПУ. Нехай буде задано:  $\eta_{\text{ГТУ}} = 0,3$ ;  $\eta_{\text{ПТУ}} = 0,3$ ;  $\phi = 0,55$ . За допомогою номограми по лінії m-1' визначаємо:  $\eta_{\text{ГПУ}} = 0,46$ . Збільшимо тепер ККД ГТУ на 8 %, тобто до значення  $\eta_{\text{ГТУ}} = 0,38$  за умови, що інші величини залишаються незмінними. Тоді з номограми по лінії m-1-2 визначаємо  $\eta_{\text{ГПУ}} = 0,54$ . Приріст ККД ГПУ в порівнянні з першим варіантом складає  $\Delta\eta_{\text{ГПУ}} = 0,54 - 0,46 = 0,08$  або 8 %. Тепер за умови першого варіанту збільшимо ККД ПТУ на 8 %, тобто  $\eta_{\text{ПТУ}} = 0,38$ , за умови, що  $\eta_{\text{ГТУ}}$  і  $\phi$  залишаються сталими. Із номограми по лінії n-3-3' визначаємо  $\eta_{\text{ГПУ}} = 0,48$ . Приріст ККД в порівнянні з першим варіантом становить,  $\Delta\eta_{\text{ГПУ}} = 0,48 - 0,44 = 0,04$  або 4 %, що вдвічі менше, ніж у другому варіанті. Отже, вирішальний вплив на ефективність роботи ГПУ спричиняє саме значення ККД газотурбінної установки.

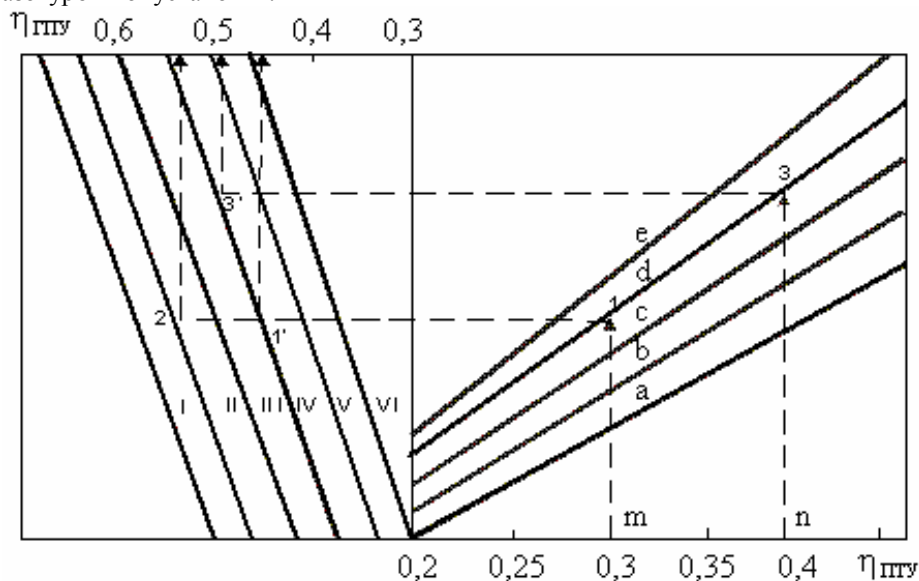


Рис. 4. Номограма для визначення коефіцієнта корисної дії ГПУ:  
 а –  $\phi = 0,40$ ; б –  $0,45$ ; в –  $0,50$ ; д –  $0,55$ ; е –  $0,60$   
 I –  $\eta_{\text{ГТУ}} = 0,45$ ; II –  $0,4$ ; III –  $0,35$ ; IV –  $0,3$ ; V –  $0,25$ ; VI –  $0,2$

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про доцільність застосування ГПУ в теплоенергетиці, оскільки ККД останньої перевищує ККД теплових електростанцій на 8-10 %. Слід зазначити, що збільшення  $\eta_{\text{ГТУ}}$  за умови  $\eta_{\text{ГТУ}} = \text{const}$  зумовлює більш суттєве збільшення ККД ГПУ, але призводить при цьому до зменшення електричної потужності ПТУ і ГПУ в цілому. Підвищення  $\eta_{\text{ГТУ}}$  за умови  $\eta_{\text{ГТУ}} = \text{const}$  забезпечує більший приріст електричної потужності ПТУ і ГПУ, але зменшує ККД ГПУ в порівнянні з попереднім варіантом.

Наявність отриманих залежностей дає можливість не тільки вірно підбирати газотурбінне і паротурбінне устаткування для створення ГПУ, але й прогнозувати ефективність роботи останньої. У випадку помірної вартості палива і більшого дефіциту електроенергії в регіональній енергосистемі більш виправданим є застосування ГПУ з меншими значеннями ККД газотурбінних двигунів, а в протилежному випадку – навпаки.

З метою наближення отриманих результатів до реальних умов впровадження ГПУ на базі типового вітчизняного газотурбінного і паротурбінного устаткування в табл. 1 наведені показники роботи ГТУ, ПТУ і ГПУ. Для порівняння розглядалась ПТУ з різними значеннями кінцевого тиску за паровою турбіною, характерними для конденсаторів з водяним та повітряним („сухим“) охолодженням. Потужності ПТУ і ГПУ, як і раніше, обчислювались для одиничної потужності ГТУ ( $N_{\text{ГТУ}} = 1$  МВт).

Таблиця 1

**Характеристики ГТУ і показники роботи ПТУ і ГПУ**

№	Характеристики ГТУ				Параметри пари і показники роботи ПТУ					Показники роботи ГПУ	
	$T_3, \text{K}$	$T_4, \text{K}$	$\eta_{\text{ГТУ}}$	$\eta_{\text{КУ}}$	$P_{\text{о}}, \text{МПа}$	$T_{\text{о}}, \text{K}$	$P_{\text{к}}, \text{кПа}$	$\eta_{\text{ПТУ}}$	$N_{\text{ПТУ}}, \text{МВт}$	$\eta_{\text{ГПУ}}$	$N_{\text{ГПУ}}, \text{МВт}$
1	1143	643	0,31	0,7	1,5	523	5	0,275	0,42	0,44	1,42
2	1143	643	0,31	0,7	2,2	593	5	0,3	0,46	0,455	1,46
3	1483	790	0,34	0,79	3,5	708	5	0,325	0,49	0,509	1,49
4	1483	790	0,34	0,79	3,5	708	20	0,277	0,424	0,48	1,424
5	1523	823	0,325	0,8	3,5	723	5	0,33	0,548	0,50	1,548
6	1523	823	0,325	0,8	3,5	723	20	0,282	0,468	0,475	1,468

Дані табл. 1 свідчать про те, що електрична потужність комбінованих газопарових установок може бути збільшена на 40 – 45 %. При цьому їх ККД перевищує ККД ГТУ на 8 – 14 %. Зазначимо однак, що розрахункові значення ККД являють собою ККД бруто, які не враховують витрати енергії на власні потреби установок. Тому експлуатаційні значення ККД можуть бути менше розрахункових на 2 – 3 %.

**Висновки**

Застосування газопарових установок дозволяє збільшити виробництво електроенергії на 40 % без додаткової витрати палива, а ефективність таких установок на 8 – 14 % вище, ніж ефективність існуючих теплових електростанцій.

**Література**

1. Арсеньев Л.В., Полищук В.Г., Соколов Н.П. Газопаровые установки и их показатели // Пром. теплотехника, 1999. – т.21. – № 2 – 3. – С. 87 – 89.
2. Ермолаев В., Русецкий Ю., Шварцман О. Некоторые аспекты применения ГТУ средней мощности в газопаровых установках утилизационного типа // Газотурбинные технологии, 2003. – № 4. – С. 10 – 13.
3. Рейсиг В.А., Чепурный М.Н., Бужинский В.В. Энергетические характеристики парогазовых установок с котлами-утилизаторами // Пром. теплотехника, 2003. – т.25. – № 1. – С. 61 – 64.
4. Чепурный М.Н., Бужинский В.В., Рейсиг В.А. Показники роботи газопарових установок бінарного типу // Проблеми загальної енергетики, 2004. – № 11. – С. 65 – 67.

Надійшла 15.10.2006 р.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ У ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДА

На конечные результаты исследования электропроводности кондуктометрическим методом, влияют параметры электродной системы. Поэтому необходимо иметь представление о структуре электрического поля вблизи электрода, на поверхности электрода и у границы раздела «раствор-атмосфера». В данной работе решаются задачи о структуре электрического поля в трехмерном пространстве для различных условий.

При исследовании электропроводности растворов кондуктометрическим методом, проводимом на электродах в широком диапазоне частот, можно ожидать значительного влияния на конечные результаты параметров электродной системы. Так, для понимания особенностей протекания тока в приэлектродных областях контактной системы цилиндрических электродов кондуктометра, опущенных в раствор частично, необходимо иметь представление о структуре электрического поля вблизи электрода, на его поверхности и у границы раздела «раствор-атмосфера». Однако, до сих пор нет точных аналитических решений по структуре электрических полей в трехмерном пространстве для электродов, диаметр которых много меньше длины, и отсутствует учет влияния площади поверхности на значение электропроводности.

Сформулируем общую задачу – получить аналитические решения:

- 1) взаимосвязи формы электрода с токопрохождением в окрестностях электрода;
- 2) по структуре электрического поля у поверхности электрода при частичном его погружении в раствор,

Если считать диэлектрическую постоянную сохраняющей постоянное значение на любом расстоянии от поверхности электрода, рассматривая Двойной электрический слой (ДС) в модели Пуассона-Больцмана (рис. 1), то:

$$\frac{dU_{cq}}{dx} = \pm \left\{ \frac{8\pi RT}{\varepsilon} \sum c_{i\infty} \left[ \exp\left(-z_i e U_{cq}(x)/kT\right) - 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

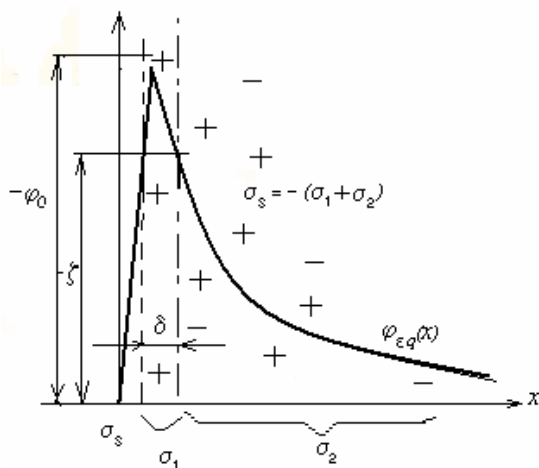


Рис. 1. Схематическое представление  $\varphi$ -потенциала ДС: ионы, прилегающие к поверхности электрода неподвижны, находясь в мощном силовом поле (заряд  $\sigma_1$ ), в электрокинетических явлениях принимает участие лишь часть ионов диффузного слоя (заряд  $\sigma_2$ ,  $\zeta$  – электрокинетический потенциал),  $\varphi_0$  – значение термодинамического потенциала на поверхности электрода

где

$$\chi^2 = \frac{4\pi e^2 \sum c_{i\infty} z_i^2}{\varepsilon kT} \quad (5)$$

Уравнение (4) связывает уменьшение потенциала в  $e$  раз с расстоянием  $\chi^{-1}$ , а на несколько больших расстояниях – убывание потенциала практически до нуля, позволяя характеризовать толщину двойного слоя

на больших расстояниях от поверхности электрическое поле  $dU_{cq}/dx$  обращается в нуль.

В случае симметричного электролита уравнение (1) существенно упрощается:

$$\frac{dU_{cq}}{dx} = \left( \frac{32\pi kTc}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{2}} \text{sh} \frac{zeU_0(x)}{kT} \quad (2)$$

Отсюда следует формула, связывающая заряд и потенциал поверхности:

$$\sigma = \left( \frac{2\varepsilon kTc}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \text{sh} \frac{ze\varphi_0}{2kT} \quad (3)$$

Если принять  $[z_i e U_{cq} / kT] \ll 1$  или при

комнатной температуре  $[z_i e U_{cq}] \ll 25$  мВ, то степенные

функции в правой части уравнения (1) можно разложить в ряд, ограничиваясь первыми двумя членами разложения. В результате интегрирования линейного уравнения получаем

$$U_{cq}(x) = \psi_0 \exp(-\chi x), \quad (4)$$

величиной дебаевского радиуса экранирования  $\chi^{-1}$ . Как известно, для водных растворов одно-одновалентных солей

$$\chi^{-1} = \frac{3,06}{\sqrt{c}} 10^{-8} \text{ , см} \quad (6)$$

где  $c$  – концентрация, моль/л.

**Расчет токопрохождения для цилиндрического электрода**

Определим количество диссоциированных молекул воды в одном моле  $H_2O$ :

$$n_d = \frac{6,0 \times 10^{23}}{0,5 \times 10^9} \cong 1,2 \times 10^{15} \quad (7)$$

Учитывая, что диссоциирует водная молекула на два иона, 1 моль содержит  $2,4 \cdot 10^{15}$  заряженных частиц (катионов и анионов), суммарный заряд которых составляет:

$$1,60 \cdot 10^{-19} \times 2,4 \cdot 10^{15} = 3,94 \cdot 10^{-4} \text{ Кл.}$$

Моль  $H_2O$  занимает объем в  $18 \text{ см}^3$  или  $18 \times 10^3 \text{ мм}^3$ . Поверхность плоского электрода в этом случае составляет:

$$S_{эл} = (\sqrt[3]{18})^2 = 2,61 \times 2,61 = 6,81 \text{ см}^2 \text{ или } 681 \text{ мм}^2.$$

Если в воду опустить два электрода указанного размера и включить разность потенциалов между ними в 1 В, то на каждом электроде сосредоточится ионных электрических зарядов (полагая отсутствие зарядов в межэлектродном пространстве)

$$n_{эл} = 2,4 \times 10^{15} / 2 \cong 1,2 \times 10^{15} \text{ или } 1,2 \cdot 10^{15} \times 1,6 \cdot 10^{-19} \cong 1,92 \cdot 10^{-4} \text{ Кл.}$$

Плотность ионных зарядов на поверхности электрода площадью в  $1 \text{ мм}^2$  составит:

$$\sigma_{эл} = \frac{1,92 \cdot 10^{-4}}{681} = 0,00282 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/мм}^2 \Rightarrow 2,82 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/мм}^2.$$

В первом приближении примем период кристаллической решетки равным  $5 \div 8 \text{ \AA}$ . Тогда на поверхности электрода в  $1 \text{ мм}^2$  размещается  $N_{эл}$  элементов решетки:

$$N_{эл} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{5 \times 5 \cdot 10^{-20}} = 0,04 \cdot 10^{14} = 4 \cdot 10^{12}$$

Примем число возможных зарядов для каждого элемента решетки на поверхности электрода равным 3, тогда плотность электрических центров на поверхности электрода  $1 \text{ мм}^2$ :

$$\sigma_{эл} = 3 \cdot 4 \cdot 10^{12} = 12,0 \cdot 10^{12} \Rightarrow \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 19,2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/мм}^2,$$

и возможна рекомбинация до  $19,2 \cdot 10^{-7} / 2,82 \cdot 10^{-7} \cong 6,857 \cong 7,0$  зарядов на каждом элементе решетки, с минимальным рекомбинационным током на поверхности электрода площадью в  $1 \text{ мм}^2$ :

$$1,6 \cdot 10^{-19} \times 7,0 \times 4 \cdot 10^{12} = 44,8 \cdot 10^{-7} \text{ А} = 4,48 \cdot 10^{-6} \text{ А то есть } \approx 4,48 \text{ мкА}$$

**Структура электрического поля кондуктометрического электрода.**

Для понимания особенностей протекания тока в ячейке кондуктометра с системой цилиндрических электродов, опущенных в раствор частично, необходимо иметь представление о структуре электрического поля в электроде, на поверхности «электрод-раствор». Однако, до сих пор нет точных аналитических решений по трехмерной структуре электрических полей для цилиндрических электродов, опущенных в раствор частично (см. рис. 2).

Известные методы решения полевых задач, [1-2] не позволяют учесть объемный характер геометрии электродной системы. Это связано с «краевым эффектом» – возрастанием напряженности электрического поля около электрода и отсутствием учета свойств поля на поверхности раздела.

Методы позволяют рассчитать лишь скалярное поле потенциалов в около электродном пространстве, переход от которого к физическому полю, имеющему векторный характер, более важен и сложен. Поэтому остро стоит вопрос о поиске метода теоретического построения картины трехмерных полей особенно в приэлектродной зоне реальных цилиндрических электродов (см. рис. 2).

В расчетах электростатических полей в последнее время получил развитие интегральный метод [3-4], основанный на использовании связи между структурой поля в межэлектродном пространстве и характером

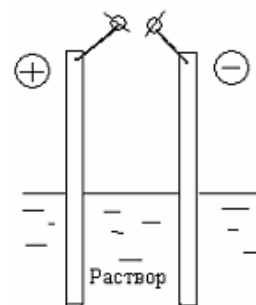


Рис. 2. Схема реальных цилиндрических электродов погруженных в раствор

расположения зарядов на электродах. Достоинство интегрального метода – он позволяет рассчитать непосредственно поле напряженностей в трехмерном пространстве, для которых не удается выразить потенциальную функцию в элементарном виде, минуя стадию расчета распределения потенциала в нем [5-6].

**Расчет трехмерного поля ДС в произвольной точке приторцевого пространства цилиндрического электрода.**

Для поля, образованного системой электронных зарядов, расположенных на поверхности электрода запишем соотношение:

$$\vec{E} = C \int_V q(t) \frac{1}{\varepsilon} \frac{\vec{P}}{P^3} dV, \quad (8)$$

где  $\vec{E}$  – вектор напряженности электрического поля в рассматриваемом пространстве;

$q$  – переменная плотность индуцирующих поле электрических зарядов (считая их распределенными непрерывно);

$\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство поля;

$\vec{P}$  – радиус-вектор, соединяющий рассматриваемую точку поля с точками заряженного пространства;

$P = |\vec{P}|$  – модуль  $\vec{P}$ ;

$C$  – константа, зависящая от выбора единиц измерения, входящих в (8) величин, и геометрических характеристик электрода.

В работе [7] показано, что при наложении электрического напряжения плотность свободных зарядов  $n$  в электропроводящей среде (электроде) распределяется по экспоненциальному закону:

$$n_0 \exp\left(\frac{e \cdot \Delta\varphi}{kT}\right) = n_0 \left[ 1 + (1/kT)(e \cdot \Delta\varphi) + 1/2(1/kT)^2 (e \cdot \Delta\varphi)^2 + \dots \right], \quad (9)$$

где  $n_0$  – плотность зарядов в произвольной точке отсчета;

$\Delta\varphi$  – разность потенциалов между рассматриваемыми точками среды;

$e$  – заряд электрона;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – абсолютная температура среды.

Можно предположить, что распределение ионов по нормали к поверхности электрода при воздействии внешнего источника напряжения (как в рабочих условиях) направлено вглубь раствора от поверхности электрода. В данном случае интерес представляет структура поля в непосредственной близости от поверхности электрода и пренебрежение толщиной электрода и объемным характером распределения электронов на его поверхности (ДС) может привести к значительной погрешности [8].

Рассматривая поле, описываемое уравнением Лапласа для зарядов равномерно распределенных под поверхностью электрода, для осевой компоненты вектора напряженности поля  $E_x$  (нормально к поверхности электрода) (8) можно переписать в виде

$$E_x = C \int \frac{P_x}{P^3} dV = C \int \frac{\cos \alpha}{P^2} dV, \quad (10)$$

где  $\alpha$  – угол между направлением вектора  $\vec{P}$  и осью электрода.

Анализ характера изменения подынтегральной функции  $\cos \alpha / P^2$  в зависимости от диаметра электрода показывает, что в случае электрода нулевой толщины (толщины монослоя зарядов) она обращается в функцию  $1/P_S^3$ , где  $P_S$  – модуль радиуса-вектора точки наблюдения  $\vec{P}_S$ , отсчитываемый от поверхности электрода. С учетом вклада подповерхностных зарядов в напряженность поля, которое приводит к сглаживанию основной функции пространственной зависимости, отсчитываемой от поверхности вглубь раствора

Указанная особенность подынтегральной функции в (10) позволяет представить пространственную функцию поля в среде для торца электрода, представляя интеграл по объему электрода  $V$  приближенно через интеграл по его торцевой поверхности  $S_T$ , т. е. представить  $E_x$  в виде:

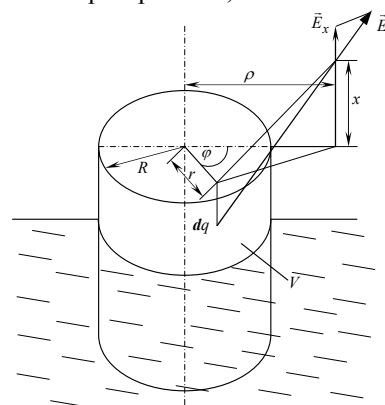


Рис. 3. Пространственная структура поля

$$E_x \cong C \int \frac{1}{SP_S^2} ds = C \cdot M_E, \quad (11)$$

то есть пространственная структура поля значений осевой компоненты вектора напряженности будет определяться только видом интеграла, который поэтому можно назвать модульфактором поля напряженностей  $M_E$ .

Далее перейдем к полярной системе координат с полюсом в центре торцевой поверхности электрода (см. рис. 3.) и координатами на плоскости  $r$  (радиус) и  $\varphi$  (азимутальный угол). При этом координаты точек пространства поля  $\rho$  (по эквипотенциальным линиям от торцевой поверхности электрода) и  $x$  (нормально поверхности):

$$M_E = \int \frac{1}{SP_S^2} ds = 2 \int_{r=0}^R r dr \int \frac{d\varphi}{x^2 + r^2 + \rho^2 - 2r\rho \cos \varphi}. \quad (12)$$

Производя интегрирование, получаем:

$$M_E = \pi \ln \frac{1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2 - \left(\frac{\rho}{R}\right)^2 + \sqrt{1 + 2 \left[ \left(\frac{x}{R}\right)^2 - \left(\frac{\rho}{R}\right)^2 \right] + \left[ \left(\frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{\rho}{R}\right)^2 \right]^2}}{2 \left(\frac{x}{R}\right)^2}. \quad (13)$$

с областью существования значений при  $x > 0$  и  $0 \leq \rho < \infty$ . На заряженных поверхностях кулоновский потенциал и напряженность поля не определены (формально обращаются в бесконечность). Рассчитанные по формуле (13) графики изменения модульфактора  $M_E$  по нормали к поверхности электрода и вдоль поверхности электрода (на различных удалениях  $x/R$ ), показаны на рис. 4.а и 4.б.

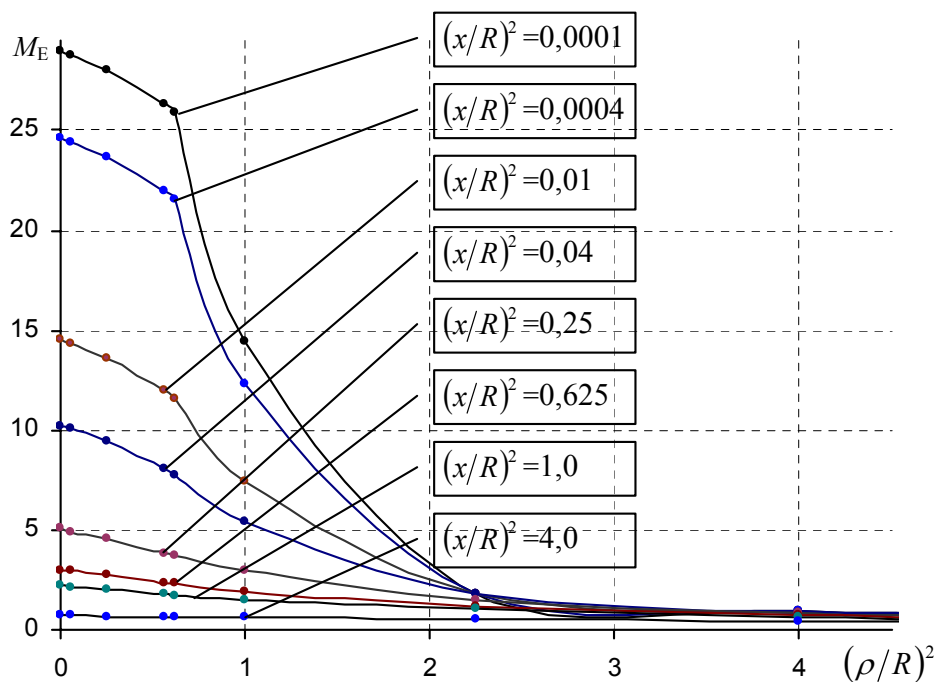
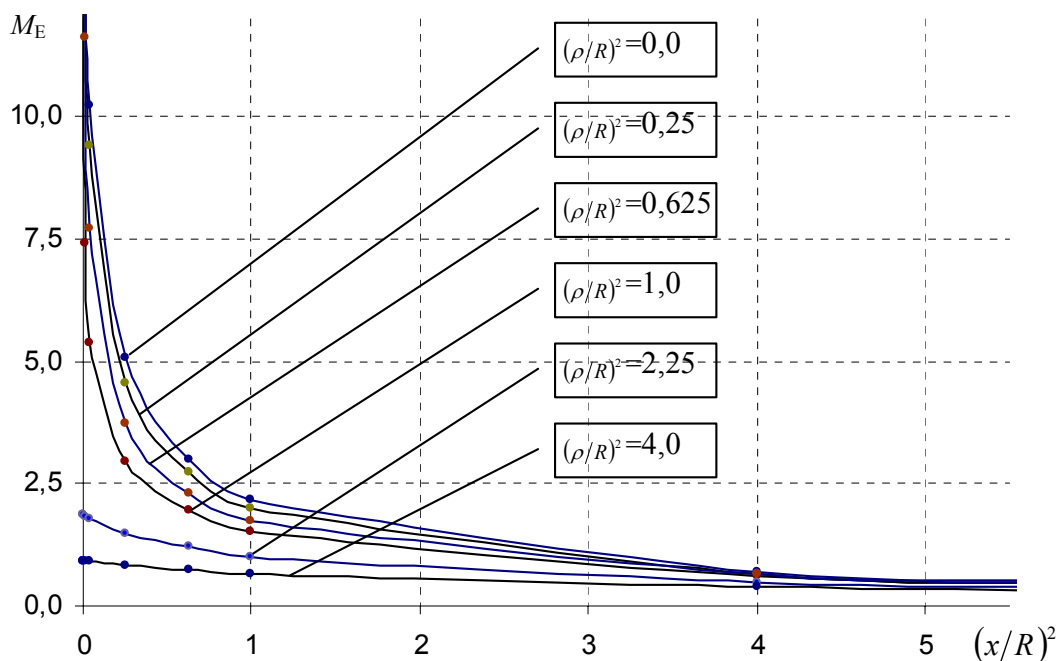


Рис. 4. а) зависимость изменения модульфактора  $M_E$  по нормали к поверхности электрода



Рис. 4. б) зависимость изменения модуль фактора  $M_E$  вдоль поверхности электрода

Наблюдаемая неоднородность поля – *продольная* вдоль оси электрода, связана с резким усилением поля по мере приближения к поверхности, – *поперечная*, параллельно поверхности электрода, – со спаданием поля по мере удаления от оси – более резко проявляется на малых расстояниях от поверхности электрода.

#### Расчет цилиндрического поля на боковой поверхности электрода

Тонкий электрод ( $l \gg d$ ) будем рассматривать, как некоторый проводник, на котором расположены заряды с линейной плотностью

$$\tau = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl} \quad (14)$$

где  $\tau$  – заряд на единице длины электрода.

Поле, вызванное зарядами, распределенными вдоль электрода, есть векторная сумма напряженностей полей, вызванных элементарными отрезками  $dl$ , будет иметь радиальную составляющую  $dE_r$ :

$$dE_r = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{\tau \cdot dl}{R^2} \cos \alpha, \quad (15)$$

и осевую составляющую  $dE_a$ :

$$dE_a = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{\tau \cdot dl}{R^2} \sin \alpha \quad (16)$$

С учетом соотношений для цилиндрической системы координат  $R \cdot d\alpha = dl \cdot \cos \alpha$  и  $R_0 = R \cos \alpha$  составляющие напряженности поля, создаваемого электродом длиной  $L$ :

$$E_r = \frac{\tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_0} \int_{-\alpha_1}^{\alpha_2} \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{\tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_0} (\sin \alpha_2 + \sin \alpha_1), \quad (17)$$

$$E_a = \frac{\tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_0} \int_{-\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{\tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2). \quad (18)$$

Для электрода бесконечной длины  $\alpha_2 = \alpha_1 = \pi/2$ , откуда можно считать для нашего электрода  $E_a = 0$ ;

$$E_r = \frac{\tau}{2\pi R_0 \epsilon\epsilon_0}, \quad (19)$$

то есть поле, создаваемое электродом, плоскопараллельное и его значение зависит только от расстояния от

електрода.

Таким образом для понимания особенностей протекания тока в приэлектродных областях контактной системы цилиндрических электродов кондуктометра, опущенных в раствор частично, были определены: взаимосвязь формы электрода с токопрохождением в окрестностях электрода; взаимосвязь потенциала ДС с напряженностью поля и токопрохождением. Полученные аналитические решения по структуре электрического поля в трехмерном пространстве для электродов, диаметр которых много меньше длины, показали что отсутствует учет влияния площади поверхности на значение электропроводности.

### Литература

1. Смайт В. Электростатика и электродинамика. Л., Энергия. 1954, 470с.
2. Гринберг Г.А.. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлении. Изд-во АН СССР, 1948.
3. Дружкин Л.А. Интегральные уравнения электростатики и краевые задачи. «Советское радио», 1967.
4. Adams A.T. Electromagnetics for engineers. – N.Y.: Ronald, 1971
5. Новые вопросы электродинамики. Сборник статей. – Изд-во МГУ, 1973.
6. Тозони О.В., Маергойз И.Д. Расчет трехмерных электромагнитных полей. «Техніка», 1974
7. Беккер Р. Электронная теория. ОНТИ, 1936, с. 217
8. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. «Наука», 1966. – 343 с.

Надійшла 9.10.2006 р.

УДК 621.852 (043.3)

О.О. ОВЧИННИКОВ., В.І. ГУДЗЬ  
Хмельницький національний університет

## РОЗРАХУНОК ЗУБЧАСТОПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ З НАПІВКОЛОВИМ ПРОФІЛЕМ ЗУБЦІВ

*В статті наведені дані проведених теоретичних і експериментальних досліджень зубчастопасової передачі з напівколовим профілем зубців. В результаті цього одержані математичні залежності для інженерного розрахунку на міцність зубців паса з напівколовим профілем.*

В сучасний час немає практично такої галузі промисловості де б не використовувалась зубчастопасова передача. Область використання зубчастопасової передачі розповсюджується від механічних іграшок і приладів точної (вимірювальної) апаратури до технологічного обладнання потужністю біля 700 кВт. Передача знаходить все більше розповсюдження в приводах верстатів, телеграфних апаратів, кінопроекторах телевізорах і т. п. Але більш широкому впровадженню даного виду передачі заважає відсутність математичних залежностей для її розрахунку. Крім того, використанню зубчастопасової передачі з трапецеїдальним профілем зубців заважала її порівняно мала працездатність при передачі великого навантаження. Поява зубчастопасової передачі з напівкруглим профілем зубців вирішує дану проблему, але для більш широкого впровадження даної передачі в промисловість потрібне створення математичного апарату для її розрахунку. Існуюча на даний період методика розрахунку зубчастопасової передачі з трапецеїдним профілем зубців, яка викладена в працях [1...3], сама по собі вимагає вдосконалення, і крім того потребує додаткової доробки для застосування її в розрахунку передачі з напівколовим профілем зубців. Працездатність і довговічність роботи будь-якої передачі визначається параметрами її самої слабкої ланки. Як показали теоретичні та експериментальні дослідження, найбільш слабкою ланкою являється пас, який за рахунок зачеплення зубців з зубцями передає навантаження, тому необхідно проводити розрахунок зубців паса на міцність. Згідно з проведеними дослідженнями основними напруженнями, що визначають міцність зубців паса і передачі в цілому, є напруження зсуву та зминання, які складають біля 90 %. Для визначення значень вищезазначених напружень скористаємося існуючою методикою розрахунку. Напруження зсуву, що діють в зубцях паса трапецеїдального профілю визначається за формулою (1.3):

$$\sigma_{zc} = \frac{F \cdot k_d}{Z_0 \cdot S_1 \cdot b \cdot k} \leq [\sigma_{zc.p}], \quad (1)$$

де  $F$  – колова сила, яка передається пасом з трапецеїдним профілем зубців, Н;

$k_d$  – коефіцієнт динамічності навантаження;

$Z_0$  – кількість зубців паса, що знаходяться в зачепленні з меншим шківом;

$S_1$  – ширина дільниці зубця паса, яка приймає участь в передачі корисного навантаження і впливає на величину зсуву зубця, мм;

$b$  – ширина паса, мм;

$k$  – коефіцієнт, який враховує конструктивні параметри передачі з трапецеїдним профілем зубців;

$$[\sigma_{зс.р}] = \frac{[\sigma_{зс.}]}{k_{np}} - \text{допустиме напруження на зсув з врахуванням умов роботи для передачі з зубцями}$$

трапецеїдного профілю, МПа;

$$[\sigma_{зс.}] = 0,86 \cdot \sigma'_b - \text{допустиме напруження на зсув, МПа;}$$

$$\sigma'_b = (5 \dots 7) - \text{границя міцності гуми на відрив від основи, МПа;}$$

$k_{np}$  – коефіцієнт працездатності передачі.

Перетворимо вираз (1.1) для розрахунку передачі з напівколовим профілем зубців враховуючи, що даний вид передачі має ряд переваг, які зв'язані з наступними причинами:

- а) передача має меншу концентрацію напруження в ніжці зубця паса за рахунок конструкції;
- б) передача дозволяє передавати більші колові зусилля, за рахунок збільшення робочої площини зубців, яка бере участь в передачі колового зусилля;
- в) зубці паса і шківів входять в зачеплення більш плавно і їх конфігурація більш відповідає основному закону зачеплення;

г) розрахунок потрібно вести для найбільш навантаженого зубця паса, тому що навантаження розподіляється не рівномірно серед зубців паса, що знаходяться в зачепленні із зубцями шківів (це твердження відноситься і до зубців з трапецеїдним профілем).

З врахуванням вищесказаного вираз (1) прийме вигляд:

$$\sigma_{зс} = \frac{F \cdot k_d \cdot c}{Z_0 \cdot 2R \cdot b} = \frac{F_{1b} \cdot k_d \cdot c}{2R} \leq [\sigma_{зс.р}], \quad (2)$$

де  $F_{1b}$  – колове питоме зусилля, що передається найбільш навантаженим зубцем паса (перший зубець паса, що входить в зачеплення) одиницею ширина паса (тобто 1 мм ширини паса) [4];

$$c = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_0 \cdot k_{зс}} - \text{емпіричний коефіцієнт, значення якого одержані авторами шляхом експериментальних}$$

досліджень;

$k_1 = 1,3 \dots 1,5$  – коефіцієнт навантаження, який враховує режим роботи передачі (більші значення при меншій частоті обертання шківів);

$$k_2 = 1,1 \dots 1,2 - \text{коефіцієнт ширини паса;}$$

$k_0 \approx 3,15$  – коефіцієнт, який враховує конструктивні параметри передачі з напівкруглим профілем зубців;

$$k_{зс} = 1,33 \dots 1,59 - \text{коефіцієнт концентрації напруження зсуву;}$$

$$2R_1 - \text{ширина дільниці зубця паса, яка визначається через радіус кола, яке окреслює зубець паса, мм.}$$

Розрахунок за напруженням зминання зубців трапецеїдного профілю є аналогічним розрахунку на зсув і проводиться за наступним виразом

$$\sigma_{зм} = \frac{F \cdot k_d}{Z_0 \cdot h_1 \cdot b \cdot k} \leq [\sigma_{зм.р}], \quad (3)$$

де  $[\sigma_{зм.р}] = \frac{[\sigma_{зм.}]}{k_{np}}$  – допустиме напруження для зубців паса трапецеїдного профілю на зминання з

врахуванням режиму роботи передачі, МПа;

$$[\sigma_{зм.}] = 0,75 \cdot \sigma_b - \text{допустиме напруження для зубців паса на зминання, МПа;}$$

$$\sigma_b = 9 \dots 12 - \text{границя міцності гуми при розтягу, МПа;}$$

$h_1$  – робоча висота зубця паса трапецеїдного профілю (тобто висота зубця паса яка безпосередньо бере участь в передачі навантаження), МПа.

Перетворимо вираз (1.3) для розрахунку передачі з напівколовим профілем зубців

$$\sigma_{зм} = \frac{F \cdot k_d \cdot c_1}{Z_0 \cdot h_1 \cdot b} = \frac{F_{1b} \cdot k_d \cdot c_1}{h_1} \leq [\sigma_{зм.р}], \quad (4)$$

де  $c = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_0 \cdot k_4}$  – емпіричний коефіцієнт, значення якого одержані авторами шляхом експериментальних

досліджень;

$k_4 = 1,3 \dots 1,5$  – коефіцієнт концентрації напруження зминання;

$h'_1$  – робоча висота зубця паса напівкологового профілю, мм.

Необхідно відмітити, що напруження зминання для зубчастопасової передачі з напівколовим профілем зубців мають менше значення (за рахунок конструкції зубців паса) ніж для передачі з трапецієдним профілем зубців.

Отримані математичні залежності (1.2, 1.4) дають можливість зробити перевірочний розрахунок передачі з напівколовим профілем зубців за напруженням зсуву та зминання. Вибір та розрахунок останніх параметрів передачі з напівколовим профілем зубців проводиться за існуючою методикою [1...3] з врахуванням конструктивних параметрів передачі.

#### Висновки

В результаті проведеного теоретичного та експериментального досліджень отримані математичні залежності, які дозволяють провести розрахунок на міцність передачі з напівкруглим профілем зубців.

#### Література

1. Воробьев И.И. Ременные передачи. – М.: Машиностроение. 1979. – 168 с.
2. Гуревич Ю.Е. Деформация Зубьев зубчатых ремней // Передачи и опоры. – М.: Мосстанкин. 1974. – С. 142-152.
3. Гуревич Ю.Е.. Жуков Е.П. Расчет передачи зубчатым ремнем // Передачи и опоры. М.: Мосстанкин, 1974. – С. 113-130.
4. Овчинников О.О. Графічне дослідження розподілу зусилля між зубцями паса напівкологового профілю для випадку, коли крок паса дорівнює або менше кроку шківів // Збірник наукових праць. – № 32. – Ч.2. – Хмельницький: Вид-во Нац. академії ДПСУ, 2004. – С. 38-42.

Надійшла 25.10.2006 р.

УДК 677.055

Б.Ф. ППА, В.В. ЧАБАН

Київський національний університет технологій та дизайну

## ВИБІР ПАРАМЕТРІВ БЕЗШПОНКОВОГО З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЗМІВ МАШИН ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ З ВАЛОМ

*Представлено результати досліджень по удосконаленню конструкції з'єднання деталей машин легкої промисловості з валами. Запропоновано більш досконалу конструкцію з'єднання деталі з валом – безшпонкове фрикційне з'єднання, що дозволяє здійснювати кутове регулювання положення деталі відносно вала, оцінку ефективності роботи такого з'єднання та методу вибору його робочих параметрів.*

#### Вступ

Недоліком відомих конструкцій з'єднання деталей машин з валами є наявність на робочій поверхні вала та деталі пазів, необхідних для встановлення шпонки або шліців, що послабляють вал та деталь і, таким чином, призводять до зниження надійності та довговічності роботи з'єднання [1, 2]. Недоліком відомих з'єднань деталей з валами є також неможливість або складність кутового регулювання положення деталі відносно вала, що необхідно при налагодці та експлуатації машин легкої промисловості, особливо в'язальних машин [3].

Враховуючи доцільність підвищення ефективності роботи машин легкої промисловості шляхом удосконалення конструкцій з'єднань їх деталей з валами, проблема розробки нових конструкцій з'єднань та вибору їх робочих параметрів є актуальною для сучасного легкого машинобудування.

Об'єктом досліджень обрано безшпонкове фрикційне з'єднання деталей механізмів машин легкої промисловості з валами, що дозволяють здійснювати кутове регулювання положення деталі відносно вала, та метод вибору його раціональних параметрів, що забезпечують надійність та довговічність з'єднання. При розв'язанні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії опору матеріалів та деталей машин.

Завданням досліджень стала розробка нової більш досконалої конструкції з'єднання деталей з валами, що забезпечують надійність їх роботи та можливість кутового регулювання положення деталі відносно вала.

#### Основний розділ

Враховуючи недоліки існуючих конструкцій з'єднань деталей з валами [1, 4], авторами пропонується нова більш ефективна конструкція безшпонкового фрикційного з'єднання деталей з валами, що забезпечує надійність його роботи та можливість кутового регулювання положення деталі відносно вала.

Схема нової конструкції з'єднання представлена на рис. 1.

З'єднання містить вал 1 з робочою поверхнею 2, яка виконана конічною з переходом в кінці робочої поверхні з більшим діаметром в циліндричний буртик 3, деталь 4 та засіб для фіксації деталі на валу, що містить фланець 5, який встановлений на валу 1 з протилежної від робочої поверхні 2 його частині і опирається на буртик 3, та болти 6 з гайками 7, що з'єднують фланець 5 з деталлю 4.

З'єднання працює таким чином. При нерухомому валу 1 деталь 4 надівається на його робочу поверхню 2. З протилежної сторони на вал 1 надівається фланець 5 до упору в буртик 3. Після цього деталь 4 з'єднується з фланцем 5 болтами 6 з гайками 7. Зусилля болтів 6, що виникає при нагвинчуванні на них гайок 7 притягує деталь 4 в бік фланця 5, переміщуючи її вздовж вала до упору. Сила тертя, що виникає при цьому в зоні контакту робочої поверхні 2 вала 1 з деталлю 4 забезпечує надійність роботи з'єднання. Довговічність з'єднання забезпечується відсутністю на робочій поверхні вала та деталі пазів та інших компенсаторів напружень в зоні їх взаємодії.

При цьому слід відмітити, що з'єднання дозволяє здійснювати кутове регулювання положення деталі відносно вала. Запропоноване з'єднання може бути використано як для нереверсивних, так і для реверсивних механізмів.

Умова працездатності з'єднання може бути представлена у вигляді залежності:

$$T = T_1 + T_2, \quad (1)$$

де  $T$  - крутний момент, що передає вал в процесі експлуатації машини;

$T_1$  - момент сил тертя в зоні взаємодії фланця з буртиком вала;

$T_2$  - момент сил тертя в зоні взаємодії деталі з робочою поверхнею вала.

Використовуючи відомі рекомендації [1,4] та особливості конструкції запропонованого з'єднання, можемо записати:

$$T_1 = \frac{1}{3} Q f_1 \frac{d_1^3 - d_2^3}{d_1^2 - d_2^2}, \quad (2)$$

де  $Q$  - осьова сила притиску фланця до деталі (сила зумовлена затяжкою болтів);

$f_1$  - коефіцієнт тертя пари фланець – буртик вала;

$d_1, d_2$  відповідно зовнішній та внутрішній діаметри буртика;

$$T_2 = \frac{Q f_2 d_3}{2 \sin \alpha}, \quad (3)$$

де  $f_2$  - коефіцієнт тертя пари вал – деталь;

$d_3$  - середній діаметр внутрішньої поверхні деталі (середній діаметр робочої поверхні вала);

$\alpha$  – половина кута конуса робочої поверхні вала.

Підставивши (2), (3) в рівняння (1), одержуємо:

$$T = Q \left( \frac{d_1^3 - d_2^3}{3(d_1^2 - d_2^2)} f_1 + \frac{d_3 f_2}{2 \sin \alpha} \right). \quad (4)$$

З рівняння (4) знаходимо осьову силу притиску фланця до деталі, що забезпечує працездатність з'єднання деталі з валом:

$$Q = \frac{T}{\frac{d_1^3 - d_2^3}{3(d_1^2 - d_2^2)} f_1 + \frac{d_3 f_2}{2 \sin \alpha}}. \quad (5)$$

Для випадку, коли  $f_1 = f_2 = f$  (матеріали вала, фланця та деталі однакові), вираз (5) набуває вигляду:

$$Q = \frac{T}{f \left( \frac{d_1^3 - d_2^3}{3(d_1^2 - d_2^2)} + \frac{d_3}{2 \sin \alpha} \right)}. \quad (6)$$

Як відомо [1,4], допустима величина моменту кручення, що його може передати вал, знаходиться із умови:

$$T = 0,2 d^3 [\tau_{кр}], \quad (7)$$

де  $d$  - діаметр вала;

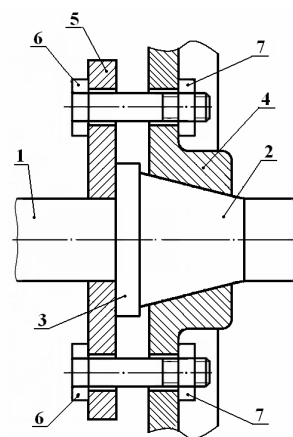


Рис. 1. Схема безшпонкового фрикційного з'єднання деталі з валом

$[\tau_{кр}]$  – допустиме напруження кручення для матеріалу вала.

Підставивши умову (7) в рівняння (6), знаходимо:

$$Q = \frac{0,2d^3[\tau_{кр}]}{f\left(\frac{d_1^3 - d_2^3}{3(d_1^2 - d_2^2)} + \frac{d_3}{2 \sin \alpha}\right)}. \quad (8)$$

Для сталевих деталей з'єднання (найбільш поширений вид матеріалів в легкому машинобудуванні) можемо прийняти [4, 5]:  $f = 0,1$ ;  $[\tau_{кр}] = 25 \text{ МПа}$ . Враховуючи необхідність забезпечення умов зручності зборки та розбори з'єднання доцільно також прийняти:  $\alpha = 10^0$  ( $\alpha \geq \rho = 5,7^0$ , де  $\rho$  – кут тертя пари деталей – вал). Враховуючи вище сказане та прийнявши із конструктивних міркувань:  $d_1 = 1,5d$ ;  $d_2 = d$ ;  $d_3 = 1,2d$ , вираз (8) набуває біль зручного для користування в практиці проектування запропонованого з'єднання вигляду:

$$Q = 12,23d^2. \quad (9)$$

При цьому слід враховувати, що величину осьової сили притиску фланця до деталі  $Q$  одержуємо в Н, коли підставляємо в рівняння (9) розмір діаметра вала  $d$  в мм.

Внутрішній діаметр різьби болтів знаходимо із умови (випадок навантаження болта осьовою силою та крутним моментом – болт працює на розтяг та кручення):

$$d_{\psi} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3Q_1}{\pi[\sigma_p]}} = 1,3 \sqrt{\frac{Q_1}{[\sigma_p]}}, \quad (10)$$

де  $d_p$  - внутрішній діаметр різьби;

$Q_1$  - осьова сила, що діє на один болт:

$$Q_1 = \frac{Q}{z\psi}; \quad (11)$$

$[\sigma_p]$  – допустиме напруження на розтяг для матеріалу болта;

$z$  - кількість болтів;

$\psi$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу осьової сили притиску фланця до деталі.

Враховуючи, що для сталевих болтів (сталь Ст. 3)  $[\sigma_p] = 80 \text{ МПа}$  [4], вираз (10) набуває вигляду:

$$d_{\psi} \geq 0,145\sqrt{Q_1}. \quad (12)$$

Для випадку, коли  $z = 4$ , прийнявши  $\psi = 0,75$  [4] та враховуючи (9), осьова сила, що діє на один болт, згідно рівняння (11) буде дорівнювати:

$$Q_1 = 4,1d^2. \quad (13)$$

Підставивши (13) в (12), знаходимо:

$$d_{\psi} \geq 0,145\sqrt{4,1d^2} = 0,29d. \quad (14)$$

Довжина робочої поверхні, що взаємодіє з деталлю, знаходиться із умови [4]:

$$b \geq \frac{Q}{\pi d_3[p] \sin \alpha}, \quad (15)$$

де  $b$  - довжина робочої поверхні;

$[p]$  - допустимий питомий тиск в зоні контактної взаємодії деталі з робочою поверхнею вала.

Прийнявши  $[p] = 8 \text{ МПа}$  та нагадавши, що  $\alpha = 10^0$ ;  $d_3 = 1,2d$ , з урахуванням (9) маємо:

$$b \geq \frac{12,23d^2}{\pi \cdot 1,2d \cdot 8 \cdot \sin 10^0} = 2,33d. \quad (16)$$

Ширина буртика знаходиться із умови міцності його на зріз:

$$\Delta \geq \frac{Q}{\pi d_2[\tau_{зр}]}, \quad (17)$$

де  $\Delta$  - товщина буртика;

$[\tau_{зр}]$  - допустиме напруження зрізу матеріалу буртика (вала).

Для нашого випадку, прийнявши  $[\tau_{зр}] = 80 \text{ МПа}$  (матеріал вала Сталь 45) [5], маємо:

$$\Delta \geq \frac{12,23d^2}{\pi \cdot d \cdot 80} = 0,05 d . \quad (18)$$

Використовуючи наведену вище методику, основні параметри запропонованого безшпонкового фрикційного з'єднання деталі з валом, діаметр якого, як приклад,  $d = 20$  мм, можуть становити:

$$Q = 4892 \text{ Н}; d_1 = 30 \text{ мм}; d_2 = 20 \text{ мм}; d_3 = 24 \text{ мм}; d_p \geq 5,8 \text{ мм}; b = 50 \text{ мм}; \Delta = 5 \text{ мм}.$$

#### Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- запропонована авторами конструкція безшпонкового фрикційного з'єднання деталей з валами працездатна та надійна в роботі;
- використання безшпонкового з'єднання деталей з валами завдяки усуненню послаблення деталі з'єднання пазами та концентрацій напружень в зоні з'єднання дозволяє підвищити довговічність та надійність роботи як самого з'єднання, так і машини в цілому, де воно використовується;
- запропонована конструкція з'єднання дозволяє спростити технологію виготовлення з'єднання деталі з валом, оскільки при цьому відпадає потреба в використанні спеціального обладнання;
- з'єднання може бути використане як для машин легкого, так і загального машинобудування.

#### Література

1. Добровольский В.А. и др. Детали машин. – М.: Машгиз, 1962. – 604 с.
2. Решетов Д.Н. Работоспособность и надежность машин. – М.: Высшая школа, 1974. – 206 с.
3. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 472 с.
4. Райко М.В. Расчет деталей и узлов машин. К.: Техніка, 1966. – 500 с.
5. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, 1975. – 704 с.

Надійшла 9.10.2006 р.

УДК 536.621.24

М.М. ЧЕПУРНИЙ, С.Й. ТКАЧЕНКО  
Вінницький національний технічний університет

## АНАЛІЗ РОБОТИ ВИПАРНИХ АПАРАТІВ ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ НАКИПОУТВОРЕННЯ

*Здійснені випробування типових промислових апаратів, працюючих в умовах накипоутворення. Визначені співвідношення між основними чинниками, які характеризують інтенсивність накипоутворення. Запропоновано режимний метод зменшення накипоутворення і діаграма для автоматичного регулювання тиску гострої пари перед випаркою.*

#### Вступ

Зменшення енерговитрат в теплотехнології є однією із складових сучасної енергетичної стратегії. За експертними оцінками [1] коефіцієнт використання теплової енергії в цукровому виробництві не перевищує 0,5. Між тим, капіталовкладення в тепловикористальне обладнання становить 40 % від вартості всього технологічного устаткування. До цього ж рівня наближаються і експлуатаційні витрати. Такі обставини зумовлені тим, що процеси термообробки розчинів супроводжуються побічними небажаними ефектами, найбільш шкідливим серед яких є процес забруднення теплообмінних поверхонь накипом. Внаслідок накипоутворення погіршується інтенсивність теплопередачі, що, в свою чергу, призводить до зменшення продуктивності апаратів, поновлення якої зв'язане зі збільшенням витрат палива. Крім того, виникає потреба вимушених зупинок виробництва для очистки поверхонь нагріву від накипу, що зумовлює додаткові витрати.

Аналіз роботи промислових випарних апаратів [2] показав, що швидкість циркуляції розчину у випарних трубах  $W_0$ , як правило, не перевищує 0,06-0,08 м/с. Вивчення кінетики накипоутворення в [3] за умови малих значень  $W_0$  переконує, що теплогідродинамічні режими роботи випарних установок в цукровій промисловості є найбільш сприятливими для відкладання накипу. Задача режимної боротьби з накипоутворенням зводиться до того, щоб в існуючих випарних апаратах збільшити швидкість циркуляції з дотриманням належного теплового навантаження поверхонь нагріву. Ця задача може бути вирішена шляхом збільшення рівня заповнення розчином випарних труб з одночасним збільшенням площі перерізу опускних труб і параметрів грійної пари [3]. Така умова для сучасних випарних апаратів цукрової промисловості реалізується за рахунок додання зовнішніх циркуляційних контурів. При цьому забезпечується робота апаратів без погіршення сепарації вторинної пари.

#### Основний розділ

Випробування роботи промислових випарних апаратів другого корпусу випарної станції здійснювалось

на Корделівському цукровому заводі Вінницької області. Базові апарати Смілянського заводу мали такі характеристики: кількість випарних (підйомних) труб 5560; активна довжина труб 4,295 м; діаметри труб 33/30 мм; діаметр внутрішньої опускної труби 0,74 м; відношення площі перерізу опускної труби до площі перерізу підйомних труб  $\phi = 0,107$ ; відносний рівень заповнення розчином випарних труб  $l_* = 0,9-0,95$ . Під час випробувань вимірювались: поля температур розчину на вході в підйомні труби та на виході з них; швидкість розчину в опускних трубах; параметри грійної та вторинної пари; рівень розчину в трубах і рівень набухання в надтрубному просторі; загальна жорсткість розчину  $C$ ; середній температурний напір; питомий тепловий потік в апараті. Методика вимірювань наведена в [2].

На рис. 1 наведені узагальнені залежності зміни швидкості циркуляції в апаратах для різних теплових навантажень поверхонь нагріву, які з точністю  $\pm 4,8\%$  апроксимуються формулою

$$W_o = 10,05 \cdot W_k^{0,67} \cdot l_*^2, \quad (1)$$

де  $W_k = q / (r \cdot \rho'')$  – швидкість кипіння, м/с;  $q$  – питомий тепловий потік, кВт/м<sup>2</sup>;  $r$  – теплота пароутворення, кДж/кг;  $\rho''$  – густина вторинної пари, кг/м<sup>3</sup>;  $l_* = l_p / 100$ ;  $l_p$  – рівень заповнення розчином випарних труб у відсотках від їх довжини.

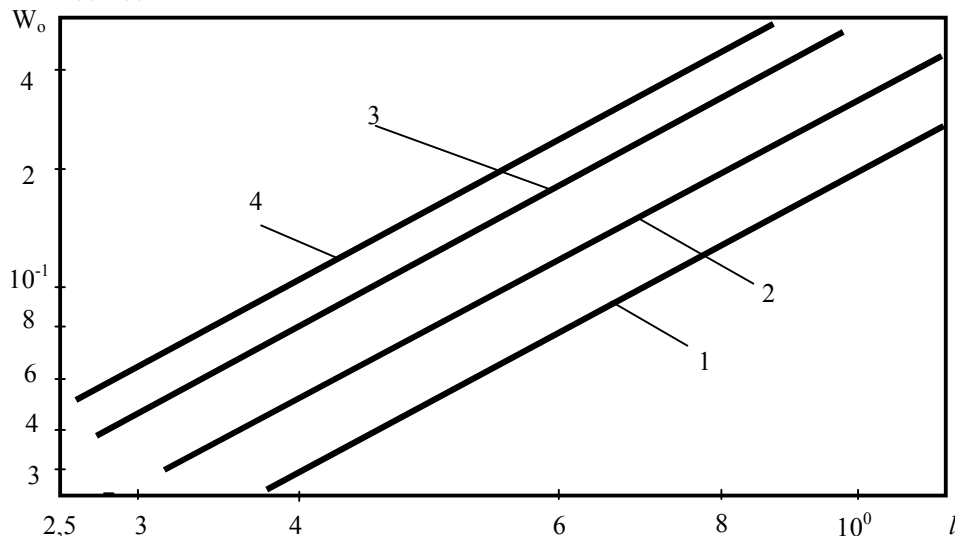


Рис. 1. Значення швидкості циркуляції в апаратах: 1 –  $q = 5$  кВт/м<sup>2</sup>; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30

Із наведеного рис. 1 видно, що підвищення  $l_p$  ( $l_*$ ) в три рази зумовлює збільшення швидкості циркуляції майже в десять разів для всіх теплових навантажень поверхонь нагріву апаратів. Ці результати дають змогу цілеспрямовано корегувати теплогідродинамічні режими роботи апаратів з посиленою циркуляцією в умовах накопуютворення.

Ефективність роботи досліджуваних випарних апаратів в умовах накопуютворення оцінювались коефіцієнтом

$$\eta_e = K_t / K_o, \quad (2)$$

де  $K_t$  – значення коефіцієнта теплопередачі за певний час роботи апарата  $\tau$ ;  $K_o$  – значення коефіцієнта теплопередачі в початковий період ( $\tau = 1$  доба).

Для прикладу на рис. 2 показані поточні значення  $\eta_e$  в апаратах для загальної жорсткості розчину  $C = 8 - 8,5$  мг-екв/л і  $q = 20-24$  кВт/м<sup>2</sup>.

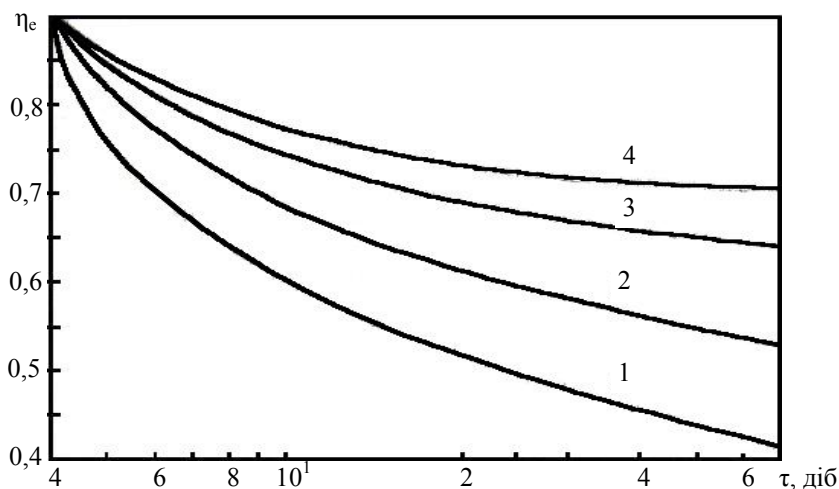


Рис. 2. Поточні значення коефіцієнта ефективності випарних апаратів: 1 –  $\phi=0,107$ ; 2– 0,25; 3– 0,35; 4– 0,4



Як і слід було очікувати, робота базового апарата виявилась найменш ефективною (крива 1). Якщо за гранично допустиме значення  $\eta_e$  вважати значення 0,45, то в базовому апараті воно досягається на 45 добу роботи. В той же час в апараті із зовнішніми циркуляційними трубами з  $\varphi = 0,4$  на той же термін роботи це значення складає 0,73, тобто на 62 % вище. Зазначене може свідчити про те, що середній сезон цукроваріння ( $\tau = 90$  діб) випарні апарати з посиленою циркуляцією здатні працювати без зупинки на очистку поверхонь нагріву від накипу.

Узагальнення експериментальних даних дозволило отримати формулу для обчислення поточних значень коефіцієнтів ефективності роботи випарних апаратів

$$\eta_e = 1,4 \cdot C^{-0,3} \cdot \mu_*^{-0,25} \cdot (1 - A \cdot \ln \tau), \quad (3)$$

де  $A = 0,07 \cdot W_0^{-0,225}$ ;  $\mu_* = \mu_k / \mu_0$ ;  $\mu_0, \mu_k$  – динамічна в'язкість розчину на вході в апарат і на виході з нього відповідно;  $C$  – загальна жорсткість розчину;  $\tau$  – час, доба.

Для зручності використання (3) побудована номограма, яка наведена на рис. 3. Залежність (3) і номограма є визначальними для оцінки роботи випарних апаратів в умовах накипоутворення, визначення оптимальних режимів їх роботи та конструктивних розробок.

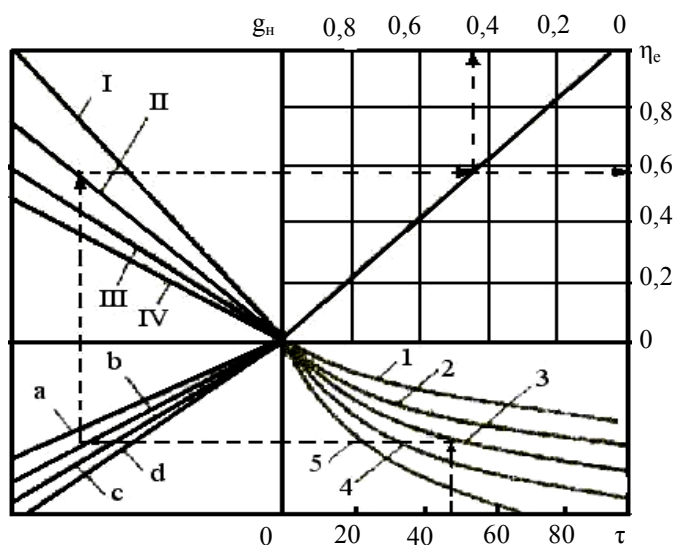


Рис. 3. Номограма для визначення поточних значень  $g_n$  і  $\eta_e$ : 1 –  $W_0 = 0,05$  м/с; 2 – 0,1; 3 – ; 4 – 0,4; 5 – 0,6; а –  $\mu_* = 1,2$ ; б – 1,4; с = 2; d = 4; I –  $C = 2$  мг-екв/л; II – 4; III – 8; IV – 12;  $g_n = 1 - \eta_e$  – коефіцієнт інтенсивності накипоутворення

Насамкінець зазначимо, що у міру відкладання накипу на поверхні нагріву апарата зменшується його теплове навантаження, що згідно з [3] обумовлює зниження швидкості циркуляції при сталому рівні заповнення випарних труб розчином. Тому для підтримання оптимальних теплогідродинамічних режимів роботи треба корегувати параметри гострої пари. На рис.4 показана діаграма зміни тиску грійної пари для чотирьохкорпусної випарної станції з апаратами посиленої циркуляції ( $\varphi = 0,35$ ). Такі діаграми можуть виконувати функції режимних карт, за допомогою яких можна корегувати теплові режими роботи випарних установок протягом сезону цукроваріння.

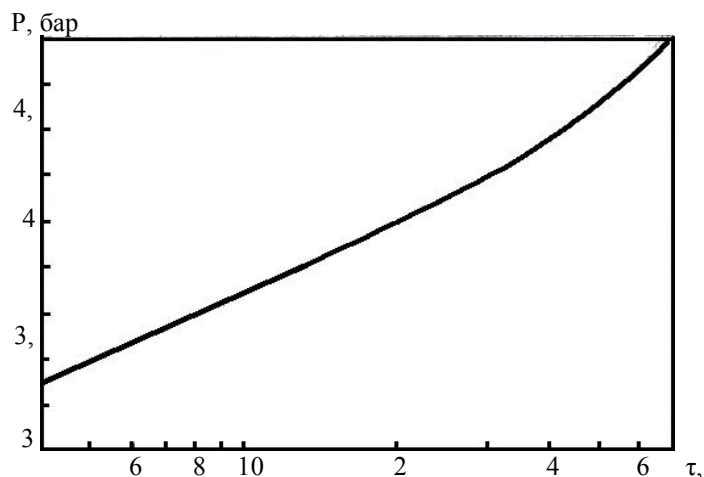


Рис. 4. Поточні значення тиску пари за протитисковою турбіною

### Висновки

Режими роботи і конструкції типових випарних апаратів цукрового виробництва не є оптимальними в умовах накипоутворення. Режимними методами зменшення забруднень на поверхнях нагріву апаратів є одночасне підвищення швидкості циркуляції та параметрів грійної пари. Підвищення швидкості циркуляції в 10 разів досягається в існуючих апаратах без істотних конструктивних змін (установленням зовнішніх додаткових циркуляційних труб). Ефективність роботи таких апаратів вище, ніж існуючих, на 60 %, що забезпечує безперервну роботу випарної станції за сезон цукроваріння і виключає збитки, зв'язані з простоями виробництва і очищенням поверхонь від накипу.

## Література

1. Богорош А.Т., Федоткин И.М., Гулый И.С. Накопобразование и пути его снижения в сахарной промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 190 с.
2. Shepurnoy M.N., Berkuta A.D. Heat exchange apparatus account allowing for deposit scale on heating surface // Heat Transfer, 1989. – V.11. – № 2. – P.84-90.
3. Чепурний М.М., Ткаченко С.Й., Дишлюк В.А. Кінетика накопуютворення при термообробці розчинів // Вісник ВПІ, 1994. – № 5. – С.51-54.

Надійшла 7.10.2006 р.

УДК 681.3

В.Ю. ТІТОВА

Хмельницький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТИВНОГО ЧЕРГОВОГО В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ВНУТРІШНІХ СПРАВ

В даній статті проведено детальний аналіз роботи оперативного чергового оперативно-чергової служби органів внутрішніх справ, визначені його задачі та виконується розподілення цих задач між оперативним черговим та системою підтримки прийняття рішень для оперативно-чергових служб.

**Вступ.** Однією з найважливіших задач розвитку соціальної сфери країни є підвищення соціальної безпеки населення. Досягти цього передбачається за рахунок використання комплексних заходів, спрямованих на послаблення криміногенної обстановки, підвищення професійних можливостей державних органів, які захищають правопорядок, удосконалення методів і форм боротьби зі злочинністю. Усе це вимагає докорінного реформування чергових частин і чергових служб органів внутрішніх справ та впровадження нових інформаційних технологій в їх діяльність.

**Характеристика предметної області.** Чергова частина – самостійний структурний підрозділ в системі управління внутрішніх справ (УВС), покликаний здійснювати керівництво і контроль за діяльністю різних служб і виконувати задачі по охороні громадського порядку та боротьбі зі злочинністю [1]. Задачею чергової частини УВС є виконання покладених на неї обов'язків по збиранню інформації та реагуванню на виникнення ситуації, керування силами і засобами, задіяними за планом комплексного використання сил і засобів міліції в охороні громадського порядку. Безпосередньо виконання цих задач здійснюється оперативним черговим (ОЧ). ОЧ за своєю професійною діяльністю є особою, що приймає рішення (ОПР) по охороні суспільного порядку та боротьбі зі злочинністю. На основі аналізу діяльності ОЧ після надходження повідомлення про ситуацію, можна виділити чотири основні задачі, що мають бути виконані:

- обробка первинної інформації;
- розпізнавання ситуації;
- прогнозування розвитку ситуації;
- прийняття певного рішення.

Ці задачі взаємозв'язані між собою (рис. 1).

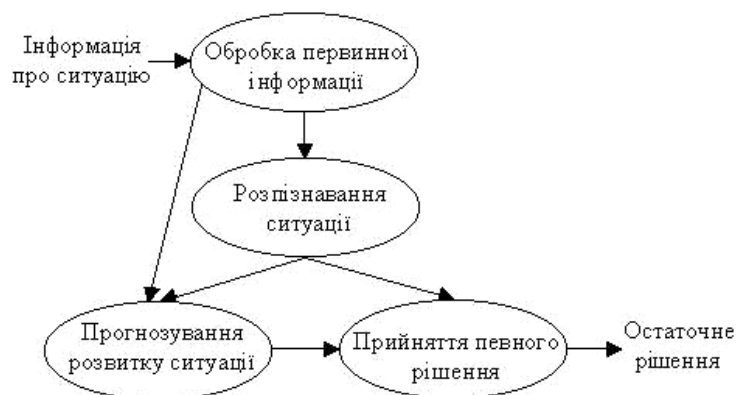


Рис. 1. Взаємозв'язок задач, що вирішуються оперативним черговим після надходження повідомлення про ситуацію

Обробка первинної інформації полягає у попередній перевірці інформації на предмет її вірогідності, значущості та корисності та визначенні таких даних:

- за номером абонента, що дзвонить – його адреси та кримінальної характеристики;
- за особами, які згадуються в повідомленні – їх соціального (адреса місця проживання, місце

роботи) і кримінального портретів, власності, що їм належить (автомобілі, квартири, гаражі);

- за предметами, згадуваними в повідомленні (автомобілі, антикваріат та ін.) – їх реєстраційних і кримінальних (якщо є) параметрів;
- розміщення найближчих до місця виникнення ситуації стаціонарних і пересувних міліцейських загонів.

До задачі розпізнавання ситуації входить віднесення поточної ситуації до одного з відомих класів ситуацій та визначення, на основі цього, альтернатив своєї подальшої поведінки і критеріїв для пошуку серед цих альтернатив кращої.

Прогнозування розвитку ситуації полягає у визначенні розвитку ситуації та наслідків впровадження тієї чи іншої альтернативи.

Прийняття остаточного рішення полягає в оцінюванні ефективності визначених наслідків кожної з альтернатив за вище зазначеними критеріями та виборі на основі цього кращої альтернативи остаточного рішення.

На основі аналізу дій ОЧ можна провести деталізацію задач, які виконуються ОЧ після надходження інформації про ситуацію (рис. 2).

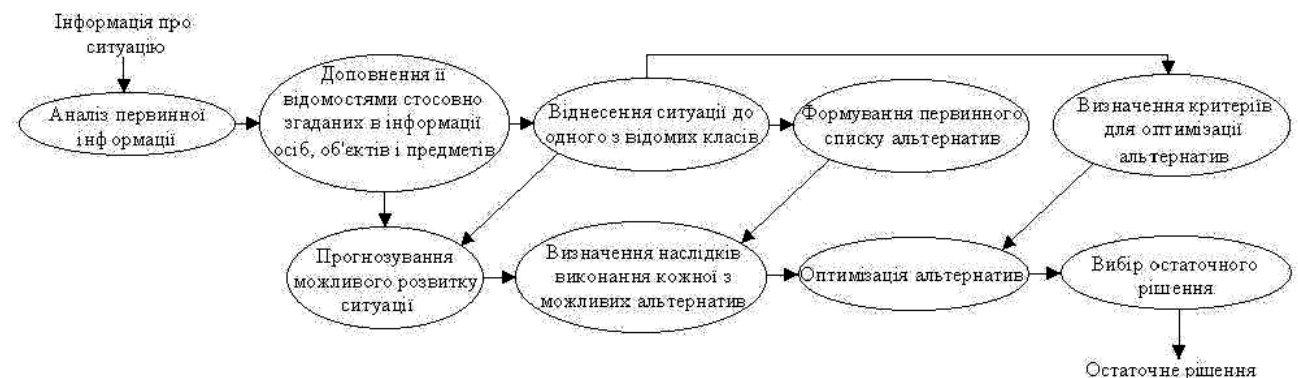


Рис. 2. Деталізація процесу прийняття рішень оперативним черговим

**Постановка задачі.** Як вже зазначалось, ОЧ є особою, що приймає рішення. На сьогоднішній день прийняття рішень оперативними черговими, в основному, базується на їх досвіді та інтуїції. Отже, необхідно забезпечити ОЧ інформаційно-аналітичну підтримку прийняття рішень, а саме: створити систему підтримки прийняття рішень (СППР) для оперативно-чергової служби (ОЧС). СППР для ОЧС повинна забезпечити:

- автоматизовану підтримку процесу аналізу інформації, що надходить, доповнення її відомостями з інших баз даних, пов'язаними зі згаданими в інформації особами, об'єктами і предметами;
- віднесення ситуації до одного з відомих класів, тобто визначення її моделі, формування первинного списку альтернатив поведінки та набору критеріїв для подальшого оцінювання ефективності цих альтернатив;
- на основі відомої моделі ситуації прогнозування подальшого розвитку ситуації та визначення наслідків виконання кожної з альтернатив;
- оцінювання наслідків кожної із запропонованих альтернатив за відібраними критеріями та вибір кращої з них;
- відображення всієї необхідної інформації в найбільш доступному вигляді.

**Огляд відомих СППР.** Серед відомих на сьогоднішній день СППР можна виділити три основні класи, які відрізняються методами та засобами аналітичної обробки даних: 1) СППР, які базуються на оперативній аналітичній обробці даних (OLAP); 2) СППР, які базуються на методах інтелектуального аналізу даних (ІАД); 3) СППР, що використовують інтелектуальний аналіз даних в рамках OLAP [2].

До першого класу належать такі СППР, як DecisionSuite (Information Advantage, США), Essbase (Arbor Software, США) та інші. Їх перевагами є те, що вони фокусуються на забезпеченні доступу до багатомірних даних. В той же час такі системи зовсім не приділяють увагу пошуку закономірностей та не можуть вирішувати задачі прогнозування. Отже цей клас систем не підходить для використання ОЧС.

До систем другого класу належать системи, які побудовані на основі методів, що базуються на апараті сучасної математики. Ці методи дозволяють вирішувати такі задачі, як виявлення прихованих закономірностей, прогнозування та створення прогностичних моделей, тому мають різне практичне використання в економіці, торгівлі, охороні здоров'я та інших областях. Але більшість з методів ІАД не можуть використовуватись для аналізу багатомірних даних, тому що базуються на визначенні аналогій деталізованих прикладів та не здатні працювати з агрегованими даними [3].

До систем третього класу можна віднести такі програмні продукти, як SAS (SAS Institute, США), Statistica та інші. Але здебільшого вони орієнтовані на відносно вузьке коло задач [4, 5] та мають один недолік, притаманний більшості класичних СППР. В них відбувається розпізнавання поточної ситуації, тобто підбір з бази моделей найбільш адекватної, моделювання можливого розвитку ситуації та генерація списку можливих рішень, який демонструється ОПР. Після цього саме ОПР на підставі аналізу проблеми уточнює свої переваги і

генерує найкращий варіант її рішення. Правильність прийнятого рішення буде залежати від рівня кваліфікації ОПР, від часу, що буде витрачено на прийняття рішення та інших суб'єктивних факторів, які впливатимуть на особу, що приймає рішення.

Отже, більшість відомих систем підтримки прийняття рішень не виконують усіх функцій, що покладені на СППР для ОЧС, а тому не можуть бути використані.

Для забезпечення можливості використання оперативно-черговою службою системи підтримки прийняття рішень та вирішення вище згаданих проблем було розроблено СППР для ОЧС.

**Концептуальна модель СППР для ОЧС.** На основі задач, які має виконувати система побудовано концептуальну модель СППР для ОЧС (рис. 3). В овалах зазначені задачі ОЧ, що покладені на СППР. Стрілки вказують напрямки надання інформації та її зміст.

Щоб забезпечити виконання цих задач, СППР для ОЧС складається з наступних підсистем [6]: діалогової, обробки первинної інформації, прийняття первинних рішень, прогнозування розвитку ситуації, оцінювання ефективності рішень (рис. 4).

Діалогова підсистема являє собою інтерфейс користувача для зручності спілкування із системою.

Підсистема обробки первинної інформації виконує аналіз інформації, що надходить від ОПР та доповнює її відомостями, пов'язаними зі згаданими в інформації особами, об'єктами і предметами. Для цього СППР для ОЧС інтегрує бази даних, накопичені в УВС по особах, речах, автотранспорту, паспортах, адресах, з базами даних інших державних органів: телефонної служби, податкової служби і т.д..

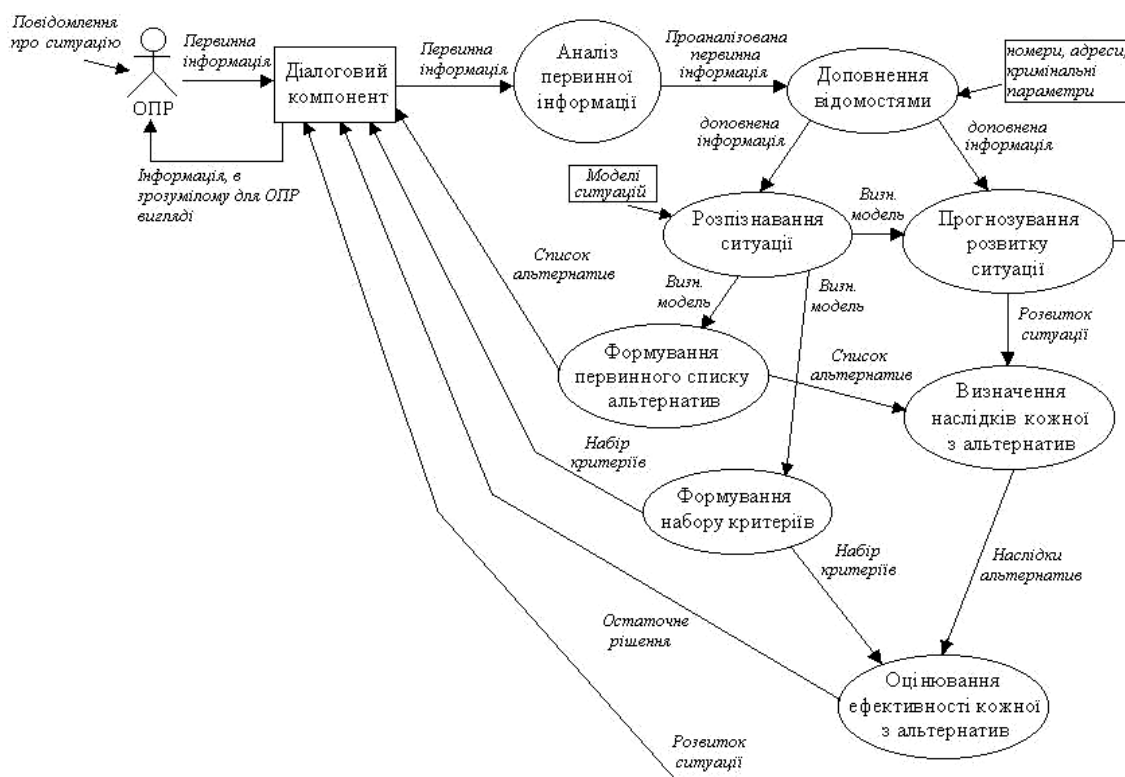


Рис. 3. Концептуальна модель СППР для ОЧС

Підсистема прийняття первинних рішень розпізнає поточну ситуацію, тобто відшукує в базі моделей найбільш адекватну модель, та на основі визначеної моделі пропонує набір можливих альтернатив поведінки та набір критеріїв для подальшого оцінювання ефективності альтернатив. При цьому модель є нарощуваною в плані додавання в неї нових варіантів дій. Нарощення може проходити через поповнення бази даних прогнозами, набутими в процесі роботи підсистеми прогнозу розвитку ситуації. Інформація стосовно можливих альтернатив та критеріїв демонструється діалоговою підсистемою за запитом оперативного чергового.

Підсистема прогнозу розвитку ситуації на основі моделі, визначеної підсистемою прийняття первинних рішень, прогнозує розвиток оперативної обстановки у часі та визначає наслідки запропонованих альтернатив поведінки. Ця інформація використовується для демонстрації розвитку ситуації діалоговою підсистемою за запитом чергового. Визначені наслідки можливих альтернатив використовуються підсистемою оцінювання ефективності рішень для оптимізації вище зазначених альтернатив.

Підсистема оцінювання ефективності рішень проводить оцінювання визначених підсистемою прогнозування розвитку ситуації наслідків альтернатив поведінки за наданими підсистемою прийняття первинних рішень критеріями. Отримана у результаті оцінювання краща альтернатива – остаточне рішення – демонструється оперативному черговому за допомогою діалогової підсистеми.

Моделі ситуації являють собою структуровану інформацію про всі обставини, що відбуваються,

альтернативи, набори критеріїв для оцінювання ефективності цих альтернатив та прийняті остаточні рішення. Система накопичує такі моделі з трьох основних джерел:

- опрацьовані і формалізовані спеціальні плани;
- моделі ситуацій, що реально відбувалися;
- результати роботи навчання системи стосовно ситуацій, які ще не відбулися, але можуть відбутися.

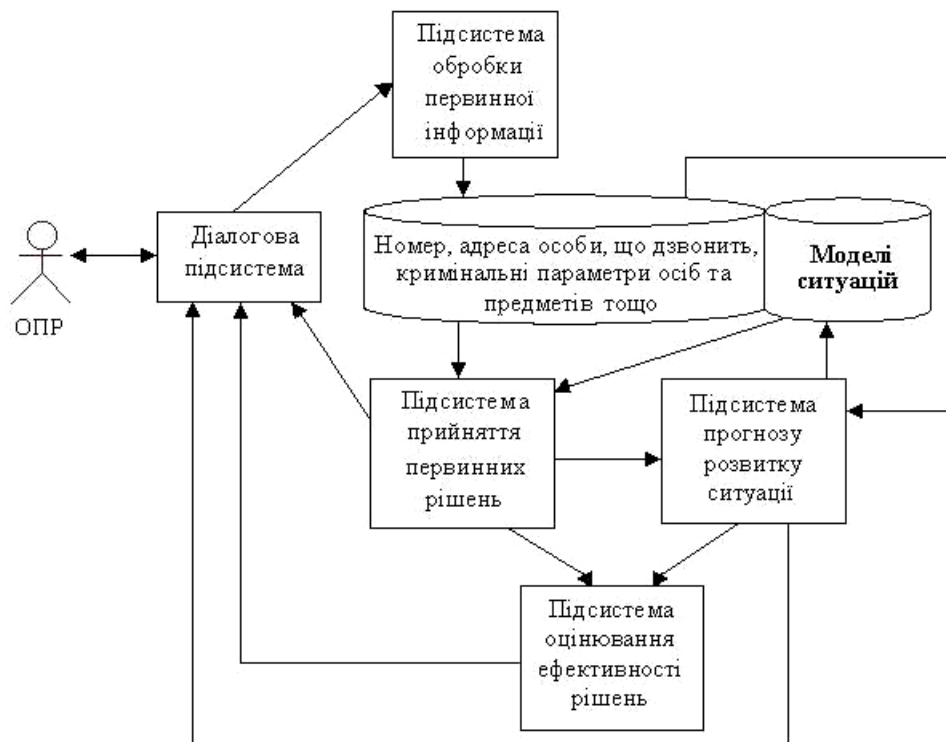


Рис. 4. Схема взаємодії підсистем СППР для ОЧС

Запропонована СППР для ОЧС не суперечить прийнятій «Концепції інформаційного забезпечення ОВС» [7] та враховує міри, які приймаються в ОВС, по автоматизації роботи оперативної довідкової картотеки та адресного бюро, а також інтегруванню накопичених в ОВС та інших державних структурах баз даних про осіб, нерухомість, географічні об'єкти і комунікації.

**Висновки.** Інформаційно-аналітичну підтримку прийняття рішень ОЧ досягнуто за рахунок деталізації та розмежування задач оперативного чергового та перенесення виконання більшої їх частини на СППР для ОЧС, а саме:

- аналізу інформації, що надходить, доповнення її відомостями з інших баз даних, пов'язаними зі згаданими в інформації особами, об'єктами і предметами;
- розпізнавання ситуації, формування первинного списку альтернатив поведінки та набору критеріїв для подальшого оцінювання ефективності цих альтернатив;
- прогнозування подальшого розвитку ситуації та визначення наслідків виконання кожної з альтернатив;
- оцінювання наслідків кожної з запропонованих альтернатив за відібраними критеріями та вибір кращої з них.

Такий підхід підвищує ефективність прийнятих рішень та дає змогу зберегти кращі з них для подальшого використання.

### Література

1. Мельник М.І. Правоохоронні органи та правоохоронна діяльність: Навчальний посібник / М.І. Мельник, М.І. Хавронюк. – К.: Атика, 2002. – 574 с.
2. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А.А. Баргесян, М.С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
3. Филиппов В.А. Интеллектуальный анализ данных: Методы и средства. – М.: УРСС, 2001. – 52 с.
4. Боровиков В. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
5. Синюк В.Г. Системы поддержки принятия решений: основные понятия и вопросы применения / В.Г. Синюк, А.П. Котельников. – Белград: БелГТАСМ, 1998. – 254 с.
6. Тітова В.Ю. Система підтримки прийняття рішень для оперативно-чергових служб / Тітова В.Ю., Локазюк В.М., Поморова О.В. // Вісник Хмельницького Національного університету. Хмельницький: ХНУ. –

УДК 621.178.162

С.Г. КОСТОГРИЗ, Ю.І. ШАЛАПКО

Хмельницький національний університет

## ПОСТІЙНЕ ТЕРТЯ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ В ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЯХ НОМІНАЛЬНО-НЕРУХОМИХ ФРИКЦІЙНИХ З'ЄДНАНЬ

Розглянуті питання динамічного моделювання в системах з постійним тертям і малих швидкостях відносного руху. Показані відмінності коливального руху залежно від в'язкого тертя, що притаманно для тертя зі змащенням і постійного тертя за законом Кулона-Амонтона. Встановлена роль початкових умов для визначення характеристик режимів зчеплення-проковзування при мало амплітудному фретингу.

### Вступ

Відомо, що динамічні явища в номінально-нерухомих з'єднаннях є доволі складні з точки зору формалізації постановки задачі та визначення степені ідеалізації моделі. Існує багато підходів до опису законів фракційної взаємодії та фізико-механічних характеристик динамічної моделі. Для першого важливим є визначення характеристик тертя, для другої, врахування маси і жорсткості системи, як в нормальному, так і в тангенціальному напрямку. Так, в умовах тертя наближеного до рідинного модель є лінійним осцилятором з в'язким тертям. Для постійного тертя за законом Кулона система дисипативних і автоколивальних рухів [1]. Для тертя, що описується Штрибек-ефектом це нелінійний осцилятор. Розглянемо систему з постійним тертям та її стійкість при встановленні в умовах вібраційного навантаження основи на якій розташовано тіло масою  $m$ .

### Динамічна модель з постійним тертям

Відомо, що закони тертя твердих поверхонь є доволі складною функцією відносної швидкості проковзування. Особливо це стосується динамічних систем з малими швидкостями проковзування і невизначеністю сили тертя при переході через нуль в її знакозмінному русі [2,3]. Для першого наближення вирішення нашої задачі приймаємо постійне тертя за законом Кулона (рис.1.).

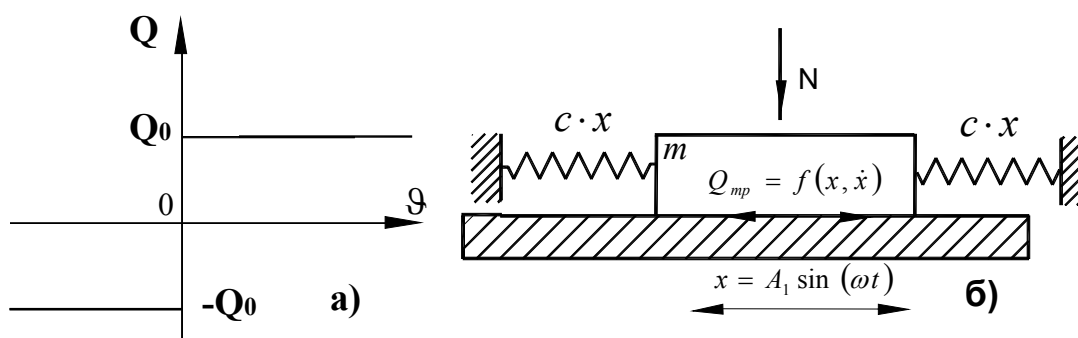


Рис. 1. Характеристика тертя за законом Кулонова та принципова схема динамічної системи, що досліджується.

При  $g = 0$  сила тертя може приймати будь-які значення в границях  $-Q$  до  $+Q_0$ . Рівняння руху тіла масою  $m$  при його розташуванні на основі  $A$  має вигляд (рис. 1,б):

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -cx + Q(g) \text{ при } \dot{x} < 0, \\ m\ddot{x} &= -cx - Q(g) \text{ при } \dot{x} > 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $c$  – жорсткість пружного елемента.

З рівняння (1) видно, що приймається друге припущення: при малих швидкостях проковзування в'язка сила тертя  $k\dot{x}$  є набагато меншою за кінетичну складову тертя  $Q(g)$ .

Розглянемо рух системи залежно від початкових умов. Власне кажучи, початкові умови встановлюються безпосередньо при складанні з'єднання. Тоді номінально-нерухоме з'єднання в макро, а номінально-нерухомих контакт в мікро масштабі характеризується координатою  $x_0$  відносно положення динамічної рівноваги ( $cx = 0$  при  $x = 0$ ), тангенціальним напруженням в інтерфейсі  $cx_0$  та початковою швидкістю  $\dot{x}_0$ . Нехай  $\dot{x}_0 > 0$  і  $x_0 > 0$ . Тоді рух системи описується другим рівнянням (1). При миттєвій

зупинці  $\dot{x} = 0$  швидкість повинна поміняти знак на від'ємний і рух повинен описуватися першим рівнянням (1). В якості початкових умов необхідно приймати координату  $x_1$ , яку система мала при  $\dot{x} = 0$ . Таким чином, якщо для одного з рівнянь (1) початкові умови  $\dot{x}_0 > 0$  та  $x_0 > 0$ , то для другого  $\dot{x}_1 > 0$  та  $x_1 > 0$ . Таким способом відбувається зміна рівноваги при осцилюючому русі тіла  $m$  по основі  $A$ .

Приймаючи  $c/m = \omega_0^2$ ,  $Q/m = a\omega_0^2$ . Зрозуміло, що  $a = Q/c$ . Тоді рівняння (1) приймає вигляд:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \begin{cases} +a\omega_0^2, \text{ при } \dot{x} < 0 \\ -a\omega_0^2, \text{ при } \dot{x} > 0 \end{cases} \quad \text{або} \quad \begin{cases} \ddot{x}_1 + \omega_0^2 x_1 = 0 & (\dot{x} < 0) \\ \ddot{x}_2 + \omega_0^2 x_2 = 0 & (\dot{x} > 0) \end{cases} \quad (2), (3)$$

де  $x_1 = x - a$ ,  $x_2 = x + a$

Рішенням (3) є рівняння гармонічних коливань (рис. 2).

Якщо початкове відхилення системи  $x_0$  є додатковим і швидкість  $\dot{x}_0 = 0$ , то початкова швидкість буде від'ємною. Положення рівноваги буде зміщено на  $+a$ . Тому в результаті першого напівперіоду другий екстремум функції  $|x_1| = |x_0| - 2a$ . Для другого напівперіоду ( $\dot{x} > 0$ ) діє друге рівняння (3) і положення рівноваги зміщено на  $-a$ . За період амплітуда коливань зменшиться на  $4a$ .

$$|x_2| = |x_1| - 2a = |x_0| - 4a$$

Таким чином, на відміну від лінійного осцилятора, для якого сила тертя пропорційна швидкості і затухання коливань відбувається по геометричній прогресії [1], а в нашому випадку затухання відбувається за арифметичною прогресією. Розглянемо рівняння лінійного осцилятора:

$$m\ddot{x} + n\dot{x} + cx = 0 \quad (4)$$

де  $n$  – коефіцієнт в'язкого демпфірування.

Позначив:  $n/m = 2h$ ,  $c/m = \omega^2$  отримаємо:

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + \omega^2 x = 0 \quad (5)$$

Рішенням рівняння (5) має вигляд:

$$x = c_1 e^{k_1 t} + c_2 e^{k_2 t},$$

де  $k_1, k_2$  – корені квадратного рівняння:  $k^2 + 2hk + \omega^2 = 0$

Залежно від  $h^2 - \omega^2$  отримаємо два процеси: при  $h^2 < \omega^2$  – процес затухання з осциляцією; при  $h^2 > \omega^2$  – аперіодичні процеси затухання.

Позначимо різницю  $\omega^2 - h^2$  за  $\omega_0^2$ . Тоді:

$$x = e^{-ht} (c_1 \cos \omega_0 t + c_2 \sin \omega_0 t) \quad (6)$$

При початкових умовах  $t = 0$ ,  $x = x_0$ ,  $\dot{x} = \dot{x}_0$ .

$$x = e^{-ht} \left( x_0 \sin \omega_0 t + \frac{\dot{x}_0 + hx_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t \right) \quad (7)$$

Рішення (7) запишемо у вигляді:

$$x = c_3 e^{-ht} \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (8)$$

де 
$$c_3 = \sqrt{c_1^2 + c_2^2} = \sqrt{x_0^2 + \left( \frac{\dot{x}_0 + hx_0}{\omega_0} \right)^2}, \quad \text{tg } \alpha = -\frac{c_2}{c_1} = -\frac{\dot{x}_0 + hx_0}{\omega_0 x_0}$$

Швидкість руху:

$$\frac{dx}{dt} = -c_3 \omega e^{-ht} \sin(\omega_0 t + \alpha + \beta) \quad (9)$$

де  $h = \omega \sin \beta$ ,  $\omega_0 = \omega \cos \beta$  з умови  $\omega_0^2 + h^2 = \omega^2$ .

З отриманих рівнянь видно, що процес затухання відбувається за експоненціальному закону і залежить від  $h$ . Візьмемо відношення двох сусідніх амплітуд:

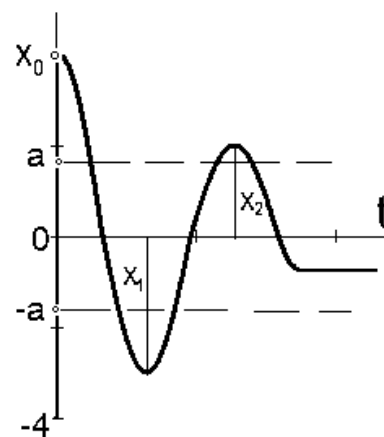


Рис. 2. Рух тіла по основі  $A$  при початковому відхиленні  $x_0$

$$\frac{x_{\max,1}}{x_{\max,2}} = e^{\frac{2\pi h}{\omega_0}} = e^{hT},$$

де  $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ .

Тоді логарифмічний декремент коливань  $\delta = hT$ . В зв'язку з вище згадуваним лінійним осцилятором, відмітимо одну з важливих відмінностей цих характеристик тертя. У випадку лінійного осцилятора завжди можливо розділити систему на коливальну та аперіодичну. У випадку постійного тертя це зовсім втрачає сенс, так як завжди можна відхилити тіло на таку відстань, що відбудуться коливання. Фізичний сенс такої особливості відіграє значну роль при розгляді балансу енергії в системі.

Розглянемо тіло масою  $m$  в стані спокою і відхиленням координати  $x_0$  (рис. 1). Потенційна енергій складається пружним елементом  $\Pi = \frac{cx_0^2}{2}$ . Робота сил тертя залежить тільки від переміщення ( $Q = const$ ). За умовним напівперіодом ( $x(t) \neq x(t+T)$ ) ця робота складає:

$$A_1 = (|x_0| + |x_1|) \cdot Q \tag{10}$$

Потенційна енергія:  $\Pi = \frac{cx_1^2}{2}$

Баланс енергій:

$$\frac{c}{2}(x_0^2 - x_1^2) = (|x_0| + |x_1|) \cdot Q \tag{11}$$

з іншого боку:

$$|x_0| - |x_1| = \frac{2Q}{c} = 2a \tag{12}$$

Таким чином, зі збільшенням відхилення системи від положення рівноваги робота сил тертя зростає лінійно (10), а потенційна енергія квадратично. Отже, можна зробити висновок, що при відповідному відхиленні запас енергії в системі набагато більше, чим розсіювання енергії за рахунок тертя за умовний напівперіод. Тоді на початку процесу система буде себе завжди вести як коливальна.

Приймаємо, що  $\frac{dx}{dt} = y$ . Тоді складаємо диференційні рівняння першого порядку згідно (2):

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx} = \frac{-\omega^2(x-a)}{y} & \text{для } y < 0 \\ \frac{dy}{dx} = \frac{-\omega^2(x+a)}{y} & \text{для } y > 0 \end{cases} \tag{13}$$

$$\begin{cases} ydy = -\omega^2(x-a)dx & (y < 0) \\ ydy = -\omega^2(x+a)dx & (y > 0) \end{cases} \tag{14}$$

Рішення диференційних рівнянь (14) є система:

$$\begin{cases} \left(\frac{x-a}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{y}{r_1\omega}\right)^2 = 1 & (y < 0) \\ \left(\frac{x+a}{r_2}\right)^2 + \left(\frac{y}{r_2\omega}\right)^2 = 1 & (y > 0) \end{cases} \tag{15}$$

Система (15) описує еліпс, одна частина якого зміщена вправо ( $y < 0$ ) і вліво ( $y > 0$ ) на величину  $a$ . На рис. 3 побудована фазова діаграма процесу яка має вигляд спіралі і складена з напівеліпсів. Таким чином, система здійснює коливання біля положення рівноваги і зупиняється після відповідної кількості циклів в залежності початкових умов.

### Механізм встановлення поверхонь при вібраційному збудженні основи

Зрозуміло, що є безліч початкових умов, які відповідають положенню системи на вісі  $x$  в границях  $(-a, +a)$ . Однак, покажемо, що на цьому відрізку система може бути нестійкою. Практичною цінністю цього розгляду є визначення умов динамічної контактної взаємодії двох поверхонь при мікро переміщеннях з врахуванням моменту пуску машини або агрегату. Подальше розташування поверхонь під час сталої роботи



системи впливає на параметри фретинг-процесу в номінально-нерухомих з'єднаннях., а саме контактної жорсткості поверхонь і амплітуди відносного проковзування. На рис. 4 показані моменти встановлення поверхонь тертя у умовах малоамплітудного фретингу при динамічному контакті кульки з площиною при амплітуді відносного зміщення 12 мікрометрів.

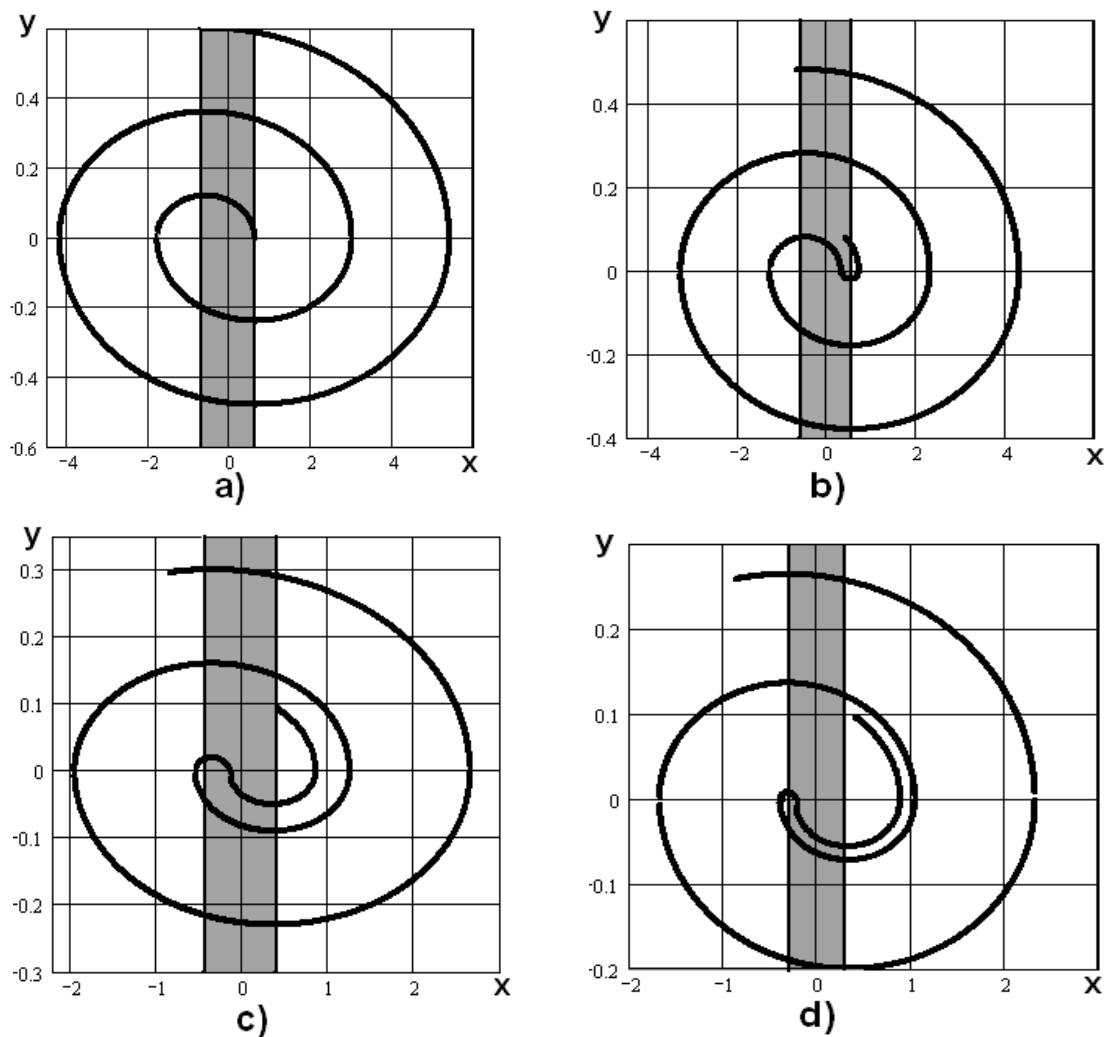


Рис. 3. Фазові діаграми коливальної системи з постійним тертям, при різних розмірах зони зчеплення: а)  $a=0,6$  (зупинка), б)  $a=0,5$ , в)  $a=0,35$ , г)  $a=0,32$

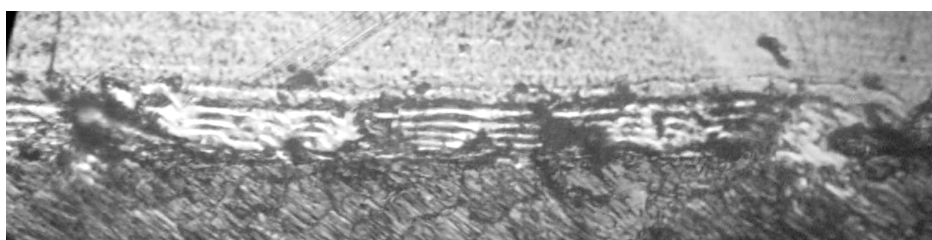


Рис. 4. Процеси автоматичного встановлення двох поверхонь в умовах вібраційного тангенціального навантаження. Показані границі плями контакту та рух окремої мікро нерівності

Припустимо, що при складанні з'єднання і формуванні відповідної посадки тіло  $m$  розташовано в точці  $x_0$  (рис.5). В початковий момент вібраційного збудження основи, точка набуває однакову початкову швидкість, яка діє в обидві сторони:  $+y$  або  $-y$ . Так як верхні частини еліпсу мають більші полувісі по зрівнянню з нижніми, то вони швидше прямують до осі  $x$ , чим нижчі. Отже, при поштовхові  $-y$  система прямує до більш сталого положення, а при  $+y$  вона віддаляється. Таким чином, система в кінці кінців займає своє положення рівноваги. Взагалі, це не означає, що вона знаходиться в спокої відносно основи. Хоча таке і можливо. Це означає, що процеси коливань встановлюються біля одного положення і характеризуються сталим режимом зчеплення– проковзування поверхонь. На рис.5 відображений процес спрямування системи до положення рівноваги при наступних параметрах:  $a = 1$ ,  $\omega = 0,1$ ,  $r1 = 0,2$ ,  $r2 = 0,332$  (рівняння 15).

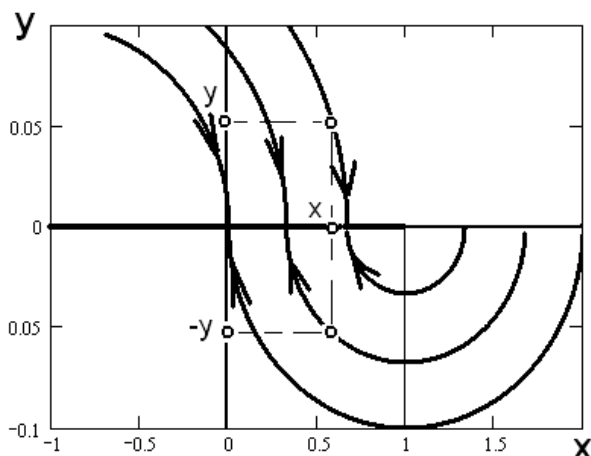


Рис. 5. Механізм встановлення системи в положення рівноваги при переході через зону зчеплення в результаті вібраційного навантаження основи

Явище присутності цієї області рівноваги негативно впливає на позиціонування точних приборів і механізмів [4,5]. Тоді, на відміну від вище згадуваних процесів, в традиційних трибоелементах спеціально вводять тангенціальне навантаження на один з елементів для згладжування тертя і наблизити сухе тертя до характеристик рідинного. Так, якщо надати вібраційний рух валу відносно його осі, складова сила тертя в підшипниках в напрямку обертання буде пропорційною швидкості обертання (при умові малої швидкості обертання) і характеристика тертя вала в підшипниках поведе себе за умовами лінійного (рідинного) тертя, на відміну від сухого.

### Висновки

1. На відміну від лінійного осцилятора (сила тертя пропорційна швидкості), коливання з постійним тертям зменшується не по геометричній прогресії, а по арифметичній і рух припиняється через відповідний час.
2. Залежно від початкових умов динамічна система займає чітко визначене положення на фазових діаграмах і є стійкими для даних умов.
3. Динамічна модель з постійним тертям володіє значною чутливістю до величини зони зчеплення  $a$ .
4. Визначений механізм встановлення системи в положення рівноваги при вібраційному русі основи. Залежно від характеристик останнього формується режим сталого зчеплення – проковзування, за яким оцінюється реальна амплітуда фретингу в номінально-нерухомому фрикційному контакті.

### Література

1. Вибрации в технике. Справочник в 6-и т. – Т. 2. Колебания нелинейных механических систем / Под ред. И.И. Блехмана. М.: «Машиностроение», 1979, 351 с.
2. Шалапко Ю.І. Перехідні процеси в системах з сухим тертям і диференціальних рівняннях // Вісник Технологічного університету. – 2003. – Ч.1. – Т.2. – № 6. – С. 258– 262.
3. Шалапко Ю.І. Вплив Штрибек ефекту на нелінійний осцилятор з сухим тертям при кінематичному збудженні // Вісник Технологічного університету. – 2005. – № 1. – С. 35-43.
4. Liang, J. – W. and Feeny, B. F., 1996. The effects of tangential contact stiffness on a harmonically forced oscillator // Proceedings of the symposium on Elasto-Impact and Friction in Dynamic Systems, ASME International Congress and Exhibition, Atlanta.
5. C. Canudas de Wit and P. Lischinsky. Adaptive friction compensation with partially known dynamic friction model. Int. J. of Adaptive Control and Signal Processing, 11H1 1997.

Надійшла 8.10.2006 р.

**EXAMINING A SUBSET OF THE SET OF ALL THE GENERATED  
BINARY FUNCTIONS ORTHOGONAL SYSTEMS BY THE SYSTEM  
OF THE 32 FIRST ORDERED WALSH FUNCTIONS**

*Исследованы уровни разбалансированности ортогональных систем из 65534-элементного подмножества множества порождённых систем ортогональных бинарных функций с исходной системой 32 первых функций Уолша при 16-битных порождающих бинарных функциях. Среди 65534 порождённых систем ортогональных бинарных функций найдено 256 ортогональных систем с нулевым уровнем разбалансированности.*

**Presummary on the work branch.** This work has been conceived to add and widen the results that were revealed in [1, 2]. Considering and examining the constant component presence in the binary functions [3 – 6] orthogonal systems

$$g_m(\theta) = f_m(\theta)\zeta_n(\theta), \quad m = \overline{1, M}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (1)$$

that are generated [7 – 9] by the system of the first ordered  $L \in \{4, 8, 16\}$  Walsh functions [10 – 13]

$$f_m(\theta) = \text{wal}(m-1, \theta), \quad m = \overline{1, M}, \quad M = L, \quad (2)$$

on the set  $\mathfrak{N}_L$  of  $L$ -bit generative binary functions

$$\zeta_n(\theta) \in \mathfrak{N}_L, \quad n = \overline{1, N}, \quad N = 2^L - 2, \quad (3)$$

there [1, 2] were gained the following: the disbalancement rate  $d_0$ , that points out the rate of the constant component presence in functions (1), for each system of the sets

$$\left\{ \left\{ \text{wal}(m-1, \theta)\zeta_n(\theta) \right\}_{m=1}^4 \right\}_{n=1}^{14}, \quad \zeta_n(\theta) \in \mathfrak{N}_4, \quad (4)$$

$$\left\{ \left\{ \text{wal}(m-1, \theta)\zeta_n(\theta) \right\}_{m=1}^8 \right\}_{n=1}^{254}, \quad \zeta_n(\theta) \in \mathfrak{N}_8, \quad (5)$$

$$\left\{ \left\{ \text{wal}(m-1, \theta)\zeta_n(\theta) \right\}_{m=1}^{16} \right\}_{n=1}^{65534}, \quad \zeta_n(\theta) \in \mathfrak{N}_{16}, \quad (6)$$

of generated orthogonal systems appears to be

$$d_0(4, n) \in \{a_1(4), a_2(4)\} = \left\{ \frac{1}{4}, \frac{1}{2} \right\} = \mathfrak{R}_0(4), \quad n = \overline{1, 14}, \quad (7)$$

$$d_0(8, n) \in \{a_1(8), a_2(8), a_3(8)\} = \left\{ \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{5}{16} \right\} = \mathfrak{R}_0(8), \quad n = \overline{1, 254}, \quad (8)$$

$$d_0(16, n) \in \{a_1(16), a_2(16), a_3(16), a_4(16), a_5(16), a_6(16), a_7(16), a_8(16)\} = \\ = \left\{ \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{5}{32}, \frac{11}{64}, \frac{3}{16}, \frac{13}{64}, \frac{7}{32}, \frac{1}{4} \right\} = \mathfrak{R}_0(16), \quad n = \overline{1, 65534}, \quad (9)$$

and the corresponding frequencies of values in sets  $\mathfrak{R}_0(L)$ ,  $L \in \{4, 8, 16\}$ , are

$$\{\alpha_1(4), \alpha_2(4)\} = \{6, 8\} = F_0(4), \quad (10)$$

$$\{\alpha_1(8), \alpha_2(8), \alpha_3(8)\} = \{14, 112, 128\} = F_0(8), \quad (11)$$

$$\{\alpha_1(16), \alpha_2(16), \alpha_3(16), \alpha_4(16), \alpha_5(16), \alpha_6(16), \alpha_7(16), \alpha_8(16)\} = \\ = \{30, 1120, 3840, 512, 26880, 17920, 14336, 896\} = F_0(16), \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^2 \alpha_k(4) = 14, \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^3 \alpha_k(8) = 254, \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^8 \alpha_k(16) = 65534. \quad (15)$$

Naturally, for values of the disbalancement rate of each function in (4) – (6)

$$d_m(L, n) = \frac{1}{L} \left| \sum_{l=1}^L \text{wal} \left( m-1, \frac{l-1}{L} \right) \zeta_n \left( \frac{l-1}{L} \right) \right|, \quad (16)$$

whose arithmetic mean, actually, is the orthogonal system disbalancement rate [7 – 9]

$$d_0(L, n) = \frac{1}{L} \sum_{m=1}^L d_m(L, n), \quad (17)$$

there were calculated the variances

$$D(L, n) = \frac{1}{L} \sum_{m=1}^L (d_m(L, n) - d_0(L, n))^2. \quad (18)$$

The sorted values of variances (18) are in three sets

$$D(4, n) \in \{b_1(4), b_2(4)\} = \left\{ 0, \frac{3}{16} \right\} = V(4), \quad n = \overline{1, 14}, \quad (19)$$

$$D(8, n) \in \{b_1(8), b_2(8), b_3(8)\} = \left\{ \frac{7}{256}, \frac{1}{16}, \frac{7}{64} \right\} = V(8), \quad n = \overline{1, 254}, \quad (20)$$

$$D(16, n) \in \{b_1(16), b_2(16), b_3(16), b_4(16), b_5(16), b_6(16), b_7(16), b_8(16)\} = \\ = \left\{ 0, \frac{15}{1024}, \frac{87}{4096}, \frac{7}{256}, \frac{135}{4096}, \frac{39}{1024}, \frac{3}{64}, \frac{15}{256} \right\} = V(16), \quad n = \overline{1, 65534}, \quad (21)$$

whose elements frequencies are in three following sets

$$\{\beta_1(4), \beta_2(4)\} = \{8, 6\} = \{\alpha_2(4), \alpha_1(4)\} = F(4), \quad (22)$$

$$\{\beta_1(8), \beta_2(8), \beta_3(8)\} = \{128, 112, 14\} = \{\alpha_3(8), \alpha_2(8), \alpha_1(8)\} = F(8), \quad (23)$$

$$\{\beta_1(16), \beta_2(16), \beta_3(16), \beta_4(16), \beta_5(16), \beta_6(16), \beta_7(16), \beta_8(16)\} = \\ = \{\alpha_8(16), \alpha_7(16), \alpha_6(16), \alpha_5(16), \alpha_4(16), \alpha_3(16), \alpha_2(16), \alpha_1(16)\} = F(16). \quad (24)$$

Also the averaged disbalancement rate

$$\tilde{d}_0(L) = \frac{1}{2^L - 2} \sum_{n=1}^{2^L - 2} d_0(L, n) \quad (25)$$

over all  $2^L - 2$  systems (4) – (6) is

$$\tilde{d}_0(4) = \frac{1}{14} \sum_{n=1}^{14} d_0(4, n) = \frac{1}{14} \sum_{k=1}^2 a_k(4) \alpha_k(4) \approx 0.39285714285714, \quad (26)$$

$$\tilde{d}_0(8) = \frac{1}{254} \sum_{n=1}^{254} d_0(8, n) = \frac{1}{254} \sum_{k=1}^3 a_k(8) \alpha_k(8) \approx 0.27460629921260, \quad (27)$$

$$\tilde{d}_0(16) = \frac{1}{65534} \sum_{n=1}^{65534} d_0(16, n) = \frac{1}{65534} \sum_{k=1}^8 a_k(16) \alpha_k(16) \approx 0.1963847010712. \quad (28)$$

And the averaged variance (18)

$$\tilde{D}(L) = \frac{1}{2^L - 2} \sum_{n=1}^{2^L - 2} D(L, n) \quad (29)$$

over all  $2^L - 2$  systems (4) – (6) is

$$\tilde{D}(4) = \frac{1}{14} \sum_{n=1}^{14} D(4, n) = \frac{1}{14} \sum_{k=1}^2 b_k(4) \beta_k(4) = \frac{1}{14} \sum_{k=1}^2 b_k(4) \alpha_{3-k}(4) \approx 0.08035714285714, \quad (30)$$

$$\tilde{D}(8) = \frac{1}{254} \sum_{n=1}^{254} D(8, n) = \frac{1}{254} \sum_{k=1}^3 b_k(8) \beta_k(8) = \frac{1}{254} \sum_{k=1}^3 b_k(8) \alpha_{4-k}(8) \approx 0.04736712598425, \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \tilde{D}(16) &= \frac{1}{65534} \sum_{n=1}^{65534} D(16, n) = \frac{1}{65534} \sum_{k=1}^8 b_k(16) \beta_k(16) = \\ &= \frac{1}{65534} \sum_{k=1}^8 b_k(16) \alpha_{9-k}(16) \approx 0.02354514927366. \end{aligned} \quad (32)$$

In the completion, the relative dispersion of values (16) can be calculated as

$$R(L, n) = \frac{|d_0(L, n) - \sqrt{D(L, n)}|}{d_0(L, n)}, \quad (33)$$

and the relative dispersion of values (7) – (9) is

$$r(L) = \frac{|\tilde{d}_0(L) - \sqrt{\tilde{D}(L)}|}{\tilde{d}_0(L)}. \quad (34)$$

They are

$$R(4, n) \in \{\gamma_1(4), \gamma_2(4)\} = \{\gamma_1(4), 1\}, \quad n = \overline{1, 14}, \quad (35)$$

$$\gamma_1(4) \approx 0.73205080756888, \quad (36)$$

$$R(8, n) \in \{\gamma_1(8), \gamma_2(8), \gamma_3(8)\} = \{0, \gamma_2(8), \gamma_3(8)\}, \quad n = \overline{1, 254}, \quad (37)$$

$$\gamma_2(8) \approx 0.47084973778708, \quad (38)$$

$$\gamma_3(8) \approx 1.64575131106459, \quad (39)$$

$$R(16, n) \in \{\gamma_1(16), \gamma_2(16), \gamma_3(16), \gamma_4(16), \gamma_5(16), \gamma_6(16), \gamma_7(16), \gamma_8(16)\}, \quad n = \overline{1, 65534}, \quad (40)$$

$$\gamma_1(16) \approx 0.0562681853293, \quad (41)$$

$$\gamma_2(16) \approx 0.1180828963118, \quad (42)$$

$$\gamma_3(16) \approx 0.24899959967968, \quad (43)$$

$$\gamma_4(16) \approx 0.28250930360855, \quad (44)$$

$$\gamma_5(16) \approx 0.44671666482751, \quad (45)$$

$$\gamma_6(16) \approx 0.73205080756888, \quad (46)$$

$$\gamma_7(16) = 1, \quad (47)$$

$$\gamma_8(16) \approx 2.87298334620742, \quad (48)$$

whose corresponding frequencies, obviously, are the elements

$$\{\alpha_1(4), \alpha_2(4)\} = \{6, 8\}, \quad (49)$$

$$\{\alpha_2(8), \alpha_3(8), \alpha_1(8)\} = \{112, 128, 14\}, \quad (50)$$

$$\{\alpha_4(16), \alpha_5(16), \alpha_3(16), \alpha_6(16), \alpha_7(16), \alpha_2(16), \alpha_8(16), \alpha_1(16)\} \quad (51)$$

of the sets (10) – (12), and

$$r(4) \approx 0.27843146061875, \quad (52)$$

$$r(8) \approx 0.20744753335068, \quad (53)$$

$$r(16) \approx 0.21865457766881. \quad (54)$$

**The main part.** Apparently, that for the orthogonal systems (4) – (6)

$$\min_{n=1, 2^L-2} d_0(L, n) = a_1(L) = \frac{1}{L}, \quad L \in \{4, 8, 16\}, \quad (55)$$

$$\max_{n=1, 14} d_0(4, n) = a_2(4) = \frac{1}{2}, \quad (56)$$

$$\max_{n=1, 254} d_0(8, n) = a_3(8) = \frac{5}{16}, \quad (57)$$

$$\max_{n=1, 65534} d_0(16, n) = a_8(16) = \frac{1}{4}, \quad (58)$$

$$\max_{n=1, 14} d_0(4, n) > \max_{n=1, 254} d_0(8, n) > \max_{n=1, 65534} d_0(16, n); \quad (59)$$

$$\min_{n=1, 14} D(4, n) = b_1(4) = \min_{n=1, 65534} D(16, n) = b_1(16) = 0, \quad (60)$$

$$\min_{n=1, 254} D(8, n) = b_1(8) = \frac{7}{256}, \quad (61)$$

$$\max_{n=1, 14} D(4, n) = b_2(4) = \frac{3}{16}, \quad (62)$$

$$\max_{n=1, 254} D(8, n) = b_3(8) = \frac{7}{64}, \quad (63)$$

$$\max_{n=1, 65534} D(16, n) = b_8(16) = \frac{15}{256}, \quad (64)$$

$$\max_{n=1, 14} D(4, n) > \max_{n=1, 254} D(8, n) > \max_{n=1, 65534} D(16, n). \quad (65)$$

The examination of the generated orthogonal systems (4) – (6) with computing a binary function disbalancement rate (16), the orthogonal system disbalancement rate (17), variances (18), averaged disbalancement rate (25), averaged variance (29), relative dispersions (33), (34) with the time for forming the set  $\mathfrak{N}_L$ , takes approximately  $1.2 \cdot 2^{L-10}$  seconds in the environment Matlab 7.0.1, AMD Athlon 64 Processor 3000+, DDR2 RAM 512 Mb.

So, examination of (4) – (6) with the corresponding calculations took up to 0.01 second, 0.24 second and 84 seconds accordingly.

In exploring the disbalancement rate parameters of the set of  $2^{32} - 2$  orthogonal generated systems

$$\left\{ \text{wal}(m-1, \theta) \zeta_n(\theta) \right\}_{m=1}^{32}, \zeta_n(\theta) \in \mathfrak{N}_{32}, n = \overline{1, 2^{32} - 2}, \quad (66)$$

it would take more than 58 days at the same computer power. That is why this work will examine only

$$\left\{ \mathbf{g}_m(\theta) \right\}_{m=1}^{16} = \left\{ \left\{ \text{wal}(p-1, \theta) \zeta_n(\theta) \right\}_{p=1}^8, \left\{ \text{wal}(q-1, \theta) \zeta_n(\theta) \right\}_{q=17}^{24} \right\} \quad (67)$$

and compare this system statistical features (16) – (18), (25), (29), (33), (34) by  $\zeta_n(\theta) \in \mathfrak{N}_{16}, n = \overline{1, 2^{16} - 2}$ . Will write the next statements with symbolic eight and zero labeling to underline, that we are working with 32-bit functions of 16-element orthogonal system:

$$d_p(8, 0, 8, 0; n) = \frac{1}{16} \left| \sum_{l=1}^{16} \text{wal}\left(p-1, \frac{l-1}{16}\right) \zeta_n\left(\frac{l-1}{16}\right) \right|, p = \overline{1, 8}, \quad (68)$$

$$d_{q-8}(8, 0, 8, 0; n) = \frac{1}{32} \left| \sum_{l=1}^{32} \text{wal}\left(q-1, \frac{l-1}{32}\right) \zeta_n\left(\frac{l-1}{32}\right) \right|, q = \overline{17, 24}, \quad (69)$$

$$d_0(8, 0, 8, 0; n) = \frac{1}{16} \sum_{m=1}^{16} d_m(8, 0, 8, 0; n), \quad (70)$$

$$D(8, 0, 8, 0; n) = \frac{1}{16} \sum_{m=1}^{16} \left[ d_m(8, 0, 8, 0; n) - d_0(8, 0, 8, 0; n) \right]^2. \quad (71)$$

And here are the analogous to (7) – (12) data:

$$d_0(8, 0, 8, 0; n) \in \left\{ a_j(8, 0, 8, 0) \right\}_{j=1}^7 = \left\{ 0, \frac{1}{16}, \frac{3}{32}, \frac{7}{64}, \frac{1}{8}, \frac{9}{64}, \frac{5}{32} \right\} = \mathfrak{R}_0(8, 0, 8, 0), n = \overline{1, 65534}, \quad (72)$$

$$\left\{ \alpha_j(8, 0, 8, 0) \right\}_{j=1}^7 = \{ 256, 11022, 30464, 7424, 14448, 1792, 128 \} = F_0(8, 0, 8, 0), \quad (73)$$

at that  $\alpha_j(8, 0, 8, 0)$  is the frequency of the disbalancement rate (17) value  $a_j(8, 0, 8, 0)$  appearance,  $j = \overline{1, 7}$ ,

$$\sum_{j=1}^7 \alpha_j(8, 0, 8, 0) = 2^{16} - 2 = 65534. \quad (74)$$

Also

$$D(8, 0, 8, 0; n) \in \{b_k(8, 0, 8, 0)\}_{k=1}^{15} = \left\{0, \frac{1}{256}, \frac{3}{256}, \frac{15}{1024}, \frac{1}{64}, \frac{23}{1024}, \frac{3}{128}, \frac{111}{4096}, \frac{7}{256}, \frac{1}{32}, \frac{143}{4096}, \frac{39}{1024}, \frac{175}{4096}, \frac{3}{64}, \frac{15}{256}\right\} = V(8, 0, 8, 0), \quad (75)$$

$$\{\beta_k(8, 0, 8, 0)\}_{k=1}^{15} = \{\alpha_1(8, 0, 8, 0), 2048, 7168, 14336, \alpha_6(8, 0, 8, 0), 14336, 7168, 7168, \alpha_6(8, 0, 8, 0)\} \cup \{5376, \alpha_6(8, 0, 8, 0), 1920, \alpha_1(8, 0, 8, 0), 112, 14\} = F(8, 0, 8, 0), \quad (76)$$

at that  $n = \overline{1, 65534}$ ,  $\beta_k(8, 0, 8, 0)$  is the frequency of the variance (18) value  $b_k(8, 0, 8, 0)$  appearance,  $k = \overline{1, 15}$ ,

$$\sum_{k=1}^{15} \beta_k(8, 0, 8, 0) = 2^{16} - 2 = 65534. \quad (77)$$

And the averaged disbalancement rate (25) is

$$\tilde{d}_0(8, 0, 8, 0) = \frac{1}{65534} \sum_{n=1}^{65534} d_0(8, 0, 8, 0; n) = \frac{1}{65534} \sum_{j=1}^7 a_j(8, 0, 8, 0) \alpha_j(8, 0, 8, 0) \approx 0.09819139683218, \quad (78)$$

the averaged variance (29)

$$\tilde{D}(8, 0, 8, 0) = \frac{1}{65534} \sum_{n=1}^{65534} D(8, 0, 8, 0; n) = \frac{1}{65534} \sum_{k=1}^{15} b_k(8, 0, 8, 0) \beta_k(8, 0, 8, 0) \approx 0.0211179740669. \quad (79)$$

At last, may we calculate the relative dispersions (33), (34) in the way, like they are variation coefficients:

$$v(L, n) = \frac{\sqrt{D(L, n)}}{d_0(L, n)}, \quad (80)$$

$$\tilde{v}(L) = \frac{\sqrt{\tilde{D}(L)}}{\tilde{d}_0(L)}. \quad (81)$$

So, will write here these coefficients for  $L \in \{4, 8, 16\}$ , that is for the generated orthogonal systems from the sets (4) – (6):

$$v(4, n) \in \{v_1(4), v_2(4)\} = \{0, v_2(4)\}, \quad n = \overline{1, 14}, \quad (82)$$

$$v_2(4) = 1 - \sqrt{3} \approx 0.73205080756888, \quad (83)$$

$$v(8, n) \in \{v_1(8), v_2(8), v_3(8)\} = \{v_1(8), 1, v_3(8)\}, \quad n = \overline{1, 254}, \quad (84)$$

$$v_1(8) \approx 0.52915026221292, \quad (85)$$

$$v_3(8) = \sqrt{7} \approx 2.64575131106459, \quad (86)$$

$$v(16, n) \in \{v_1(16), v_2(16), v_3(16), v_4(16), v_5(16), v_6(16), v_7(16), v_8(16)\}, \quad n = \overline{1, 65534}, \quad (87)$$

$$v_1(16) = 0, \quad (88)$$

$$v_2(16) \approx 0.55328333517249, \quad (89)$$

$$v_3(16) \approx 0.71749069639145, \quad (90)$$

$$v_4(16) \approx 0.8819171036882, \quad (91)$$

$$v_5(16) \approx 1.0562681853293, \quad (92)$$

$$v_6(16) \approx 1.24899959967968, \quad (93)$$

$$v_7(16) = \sqrt{3} \approx 1.73205080756888, \quad (94)$$

$$v_8(16) = \sqrt{15} \approx 3.87298334620742, \quad (95)$$

but their corresponding frequencies are the elements of sets  $F(4)$ ,  $F(8)$ ,  $F(16)$  accordingly; and to that

$$\tilde{v}(4) = 1 - r(4) \approx 0.72156853938125, \quad (96)$$

$$\tilde{v}(8) = 1 - r(8) \approx 0.79255246664932, \quad (97)$$

$$\tilde{v}(16) = 1 - r(16) \approx 0.78134542233119. \quad (98)$$

Then for the generated orthogonal systems (67) there are 65534 results

$$v(8, 0, 8, 0; n) = \frac{\sqrt{D(8, 0, 8, 0; n)}}{d_0(8, 0, 8, 0; n)}, \quad n = \overline{1, 65534}, \quad (99)$$

where the set of all possible values (99) is of 269 elements, and, obviously, there are 256 indetermined elements, because  $a_1(8, 0, 8, 0) = 0$ ,  $\alpha_1(8, 0, 8, 0) = 256$ , and they result from dividing by zero. The rest 13 elements

$\{v_j(8, 0, 8, 0)\}_{j=1}^{13}$  are

$$v_1(8, 0, 8, 0) = 1, \quad (100)$$

$$v_2(8, 0, 8, 0) \approx 1.22474487139159, \quad (101)$$

$$v_3(8, 0, 8, 0) \approx 1.24899959967968, \quad (102)$$

$$v_4(8, 0, 8, 0) \approx 1.29099444873581, \quad (103)$$

$$v_5(8, 0, 8, 0) \approx 1.32869563812238, \quad (104)$$

$$v_6(8, 0, 8, 0) = \sqrt{2} \approx 1.4142135623731, \quad (105)$$

$$v_7(8, 0, 8, 0) \approx 1.50509339326468, \quad (106)$$

$$v_8(8, 0, 8, 0) \approx 1.59861050777091, \quad (107)$$

$$v_9(8, 0, 8, 0) = \sqrt{3} \approx 1.73205080756888, \quad (108)$$

$$v_{10}(8, 0, 8, 0) \approx 1.88982236504614, \quad (109)$$

$$v_{11}(8, 0, 8, 0) \approx 2.08166599946613, \quad (110)$$

$$v_{12}(8, 0, 8, 0) = \sqrt{7} \approx 2.64575131106459, \quad (111)$$

$$v_{13}(8, 0, 8, 0) = \sqrt{15} \approx 3.87298334620742, \quad (112)$$

whose corresponding frequencies are

$$\{3840, 7168, 128, 14336, 1792, 5376, 7168, 14336, 7280, 256, 1792, 1792, 14\}. \quad (113)$$

And the point variation coefficient

$$\tilde{v}(8, 0, 8, 0) = \frac{\sqrt{\tilde{D}(8, 0, 8, 0)}}{\tilde{d}_0(8, 0, 8, 0)} \approx 1.47996923631922. \quad (114)$$

**Conclusion part.** As showed the calculated main statistical properties of the generated orthogonal systems (67) with the generative binary functions  $\zeta_n(\theta) \in \mathfrak{N}_{16}$ ,  $n = \overline{1, 2^{16} - 2}$ , there 256 times exists the desirable minimum

$$\min_{n=1, 65534} d_0(8, 0, 8, 0; n) = a_1(8, 0, 8, 0) = 0, \quad (115)$$

what is impossible for the generated orthogonal systems (4) – (6) and, at all, for  $\{\text{wal}(m-1, \theta)\}_{m=1}^{2^W}$ ,  $W \in \mathbb{N}$ . But these 256 generated orthogonal systems with (115) are not total in the space of functions with 32 equidistant constancy intervals [11]. Further,

$$\max_{n=1, 65534} d_0(8, 0, 8, 0; n) = a_7(8, 0, 8, 0) = \frac{5}{32}, \quad (116)$$

$$\min_{n=1, 65534} D(8, 0, 8, 0; n) = b_1(8, 0, 8, 0) = 0, \quad (117)$$

$$\max_{n=1, 65534} D(8, 0, 8, 0; n) = b_{15}(8, 0, 8, 0) = \frac{15}{256}, \quad (118)$$

so we may expand the inequalities (59), (65):

$$\max_{n=1, 14} d_0(4, n) > \max_{n=1, 254} d_0(8, n) > \max_{n=1, 65534} d_0(16, n) > \max_{n=1, 65534} d_0(8, 0, 8, 0; n), \quad (119)$$

$$\max_{n=1, 14} D(4, n) > \max_{n=1, 254} D(8, n) > \max_{n=1, 65534} D(16, n) = \max_{n=1, 65534} D(8, 0, 8, 0; n). \quad (120)$$

Meanwhile, by the increased up point variation coefficient (114), there still retains the trend of the disbalancement rate decreasing

$$\tilde{d}_0(4) > \tilde{d}_0(8) > \tilde{d}_0(16) > \tilde{d}_0(8, 0, 8, 0), \quad (121)$$

$$\tilde{D}(4) > \tilde{D}(8) > \tilde{D}(16) > \tilde{D}(8, 0, 8, 0) \quad (122)$$



for increasing number of functions within the orthogonal system [14, 15].

### References

1. Романюк В.В. Системи ортогональних бінарних функцій, які породжені від систем перших чотирьох та восьми функцій Уолша // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – № 4. – С. 146-149.
2. Romanuke V.V. About the orthogonal binary functions systems, that are generated with the orthogonal system of the Walsh functions of the first 16 orders by the 16-bit generative binary functions // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2006. – № 6. – Т. 1. – С. 128-133.
3. Романюк В.В. Восьмипозиційні ортогональні коди з однаковою кількістю одиничних і нульових двійкових розрядів // Матеріали Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Молодь та сучасні проблеми радіотехніки РТ-2005”. – Севастополь, 2005. – С. 82.
4. Романюк В.В. Нові базиси ортогональних дворівневих сигналів для передачі інформації у системах багатоканального зв'язку з кодовим ущільненням каналів // Матеріали Першої Міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування”. – Вінниця, 2005. – С. 68-69.
5. Романюк В.В. Розробка та дослідження ортогональних кодів поза базисом функцій Уолша // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. – № 2 (8). – С. 194-198.
6. Романюк В.В. Системи ортогональних бінарних функцій, серед яких немає прямих та інвертованих функцій Уолша ненульового порядку // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 1 (9). – С. 257-263.
7. Романюк В.В., Троцишин І.В. Дослідження рівня розбалансованості породжених базисів бінарних функцій // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 166-170.
8. Романюк В.В. Системи ортогональних бінарних функцій, які породжені від систем перших восьми функцій восьми ортогональних базисів, що визначаються послідовностями нерегулярної структури // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – № 5. – С. 103-105.
9. Романюк В.В. Порівняльна характеристика рівнів розбалансованості систем ортогональних бінарних функцій, які породжені від базису функцій Уолша та його восьми базисів-аналогів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 2. – С. 194-198.
10. Романюк В.В. Переваги та недоліки систем ортогональних сигналів з двома і трьома рівнями квантування миттєвого значення // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2005. – № 1. – С. 200-204.
11. Голубов Б.И., Ефимов А.В., Скворцов В.А. Ряды и преобразования Уолша: Теория и применение. – М.: Наука, 1987. – 344 с.
12. Романюк В.В. Семейство восьми систем ортогональных бинарных функций с нулевыми постоянными составляющими в функциях ненулевого порядка // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сборник статей IV российско-украинского научно-технического и методического симпозиума. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 202-206.
13. Пивовар О.С., Романюк В.В. Бінарно-ротаційний метод синтезу систем лінійно-незалежних функцій часу // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2003. – № 1. – С. 199-203.
14. Романюк В.В. Статистичні властивості кореляційних характеристик базисів ортогональних бінарних функцій // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2005. – № 5. – Ч. 1. – Т. 1. – С. 98-102.
15. Романюк В.В. Оцінка статистичних властивостей кореляційних характеристик базисів ортогональних бінарних функцій методом знаходження початкових і центральних моментів випадкової величини, що є усередненою кореляційною характеристикою // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2005. – № 6. – Т. 2. – С. 150-154.

Надійшла 5.10.2006 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУМІШЕЙ  
ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

*Розглянуто питання застосування математичного моделювання при вивченні властивостей багатокомпонентних сумішей розчинів поверхнево-активних речовин. Математичні моделі дають змогу використовувати їх для прогнозу вихідного параметру в тих точках, де експеримент не проводиться, а також для оцінки швидкості зміни вихідного параметру по кожному із компонентів суміші*

**Вступ**

Особливістю дослідження багатокомпонентних сумішей є те, що їх поверхня відгуку (ПВ) пов'язана тільки із співвідношенням компонентів і не залежить від загальної кількості суміші. Мета дослідження сумішей полягає в оцінці властивостей всієї багатокомпонентної системи за допомогою вивчення ПВ. Для  $q$  компонентної суміші повинно виконуватись співвідношення [1–2]:

$$0 \leq x_i \leq 1, \sum_{i=1}^n x_i = 1. \quad (1)$$

У просторі із  $q$  – компонентів обмеження (1) можна уявити як  $(q-1)$  – мірний симплекс. Якщо накладені додаткові обмеження  $(a_i \leq x_i \leq b_i)$ , то вигляд підпростору значно ускладнюється.

Поверхнево-активні речовини (ПАР) широко застосовуються в текстильній промисловості у вигляді індивідуальних речовин, а особливо у вигляді сумішей. Створення композицій ПАР шляхом підбору сореагентів і пластифікаторів дає можливість активізувати текстильні матеріали в процесах підготовки та опорядження і тим самим інтенсифікувати виробництво [4–6]. Одним із шляхів вирішення поставленої задачі є застосування математичного моделювання при розробці складів нових текстильно-допоміжних речовин (ТДР).

**Основна частина**

Для властивостей багатокомпонентних сумішей застосовуються ряд спеціальних планів, найбільше розповсюдження серед яких знайшли симплекс-решітчасті плани Шефе [5]. У  $\{q, n\}$  симплекс-решітчастому плані для поліному ступеня  $m$  відносні об'єми  $x_i$  кожного компоненту приймають значення, які рівновіддалені один від одного на інтервалі  $(0; 1)$ , тобто  $x_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, 1$ . Нехай ПВ задана квадратичною функцією по кожному із  $q$  компонентів. Тоді  $\{q, 2\}$  решітчастий симплекс складається із  $q$  вершин,  $q(q-1)/2$  точок, які лежать на серединях ребер симплексу, а поліном другого ступеня має вигляд:

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j}^q \beta_{ij} x_i x_j. \quad (2)$$

Для отримання поліномів третього та вищих порядків необхідно додати до  $\{q, 2\}$  решітки додатково точки на ребрах та в центрі симплексу:

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j}^q \gamma_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i < j < l}^q \beta_{ijl} x_i x_j x_l. \quad (3)$$

Якщо записати координати точок симплексної решітки, то отримаємо матрицю планування експерименту. Моделі (2) і (3) можна використовувати для прогнозування в точках, де експеримент не проводився, а також можна перевірити адекватність поліноміальної апроксимації у середині симплексу. Поліноми Шефе можна використати також для оцінки швидкості зміни відгуку по кожному із компонентів суміші. По кожному окремому компоненту швидкість зміни відгуку показує, наскільки швидко відгук змінюється відносно  $i$ -го компоненту при значеннях  $(1-x_i)/(q-1)$  по інших  $q-1$  компонентах. В будь-якій точці координатного простору швидкість зміни відгуку є мірою зміни відгуку близькості мінімуму або максимуму до цієї точки. Треба сказати, що швидкість зміни відгуку є важною характеристикою, яка допомагає при дослідженнях багатокомпонентних сумішей. Коефіцієнти  $\beta_i$  і  $\beta_{ij}$  в моделі Шефе другого порядку (2) можна виразити простою функцією від відгуку в точках  $\{q, 2\}$  решітчастого плану. Відгук для суміші, яка складається із одного  $i$ -го компоненту позначається  $v_i$ , а із двох компонентів  $i$  та  $j$  в рівних пропорціях через  $v_{ij}, i < j$ . В цьому випадку  $\beta_i = v_i, i = 1, 2, \dots, q$ , а  $\beta_{ij} = 4v_{ij} - 2(v_i + v_j), i < j; i, j = 1, 2, \dots, q$ . Нахил ПВ

відносно  $i$ -го компоненту можна записати, якщо виразити очікуваний відгук тільки через  $x_i$ . Вздовж вісі  $i$ -го компоненту маємо для усіх  $j \neq i$ ,  $x_j = (1 - x_i)/(q - 1)$ . При підстановці цього виразу в (2) отримуємо для величин очікуваного значення відгуку:

$$v = \beta_i x_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^q \beta_j \frac{(1 - x_i)}{q - 1} + \sum_{l=1}^{i-1} \beta_{li} \frac{(1 - x_i)x_i}{q - 1} + \sum_{j=i+1}^q \beta_{ij} x_i \frac{(1 - x_i)}{q - 1} + \sum_{\substack{j < k \\ j, k \neq i}}^q \beta_{jk} \frac{(1 - x_i)^2}{(q - 1)^2}. \quad (4)$$

Нахил величини очікуваного відгуку по  $i$ -му компоненту в точці  $x_i$  дорівнює

$$\frac{\partial v}{\partial x_i} = b_0 + b_1 x_i, \quad (5)$$

де

$$b_0 = \frac{1}{q - 1} \left[ q\beta_i - \sum_{i=1}^q \beta_i + \sum_{l=1}^{i-1} \beta_{li} + \sum_{j=i+1}^q \beta_{ij} - 2 \sum_{\substack{j < k, k \neq i}}^q \frac{\beta_{jk}}{q - 1} \right], \quad (6)$$

$$b_1 = \frac{2}{q - 1} \left[ \sum_{\substack{j < k, k \neq i}}^q \frac{\beta_{jk}}{q - 1} - \sum_{l=1}^q \beta_{li} - \sum_{j=i+1}^q \beta_{ij} \right], \quad (7)$$

Вирази (6) і (7) справедливі для будь-якого плану експерименту, якщо ПВ може бути точно описана рівнянням Шефе. Нахил (5) є лінійною функцією. Він визначається через функцію відгуку  $v_i$  і  $v_{ij}$  в точках симплексної решітки:

$$\frac{\partial v}{\partial x_i} = \alpha_0 v_i + \alpha_1 \sum_{j=i+1}^q v_j + \alpha_2 \left[ \sum_{l=1}^{i-1} v_{li} + \sum_{j=i+1}^q v_{ij} \right] + \alpha_3 \sum_{\substack{j < k \\ j, k \neq i}}^q v_{jk}, \quad (8)$$

де  $\alpha_0 = 4x_i - 1$ ;  $\alpha_1 = \frac{4x_i - q + 5}{(q - 1)^2}$ ;  $\alpha_2 = \frac{4(1 - 2x_i)}{q - 1}$ ;  $\alpha_3 = \frac{8(x_i - 1)}{(q - 1)}$ ,

так як  $b_i$  і  $b_{ij}$  є функціями  $v_i$  і  $v_{ij}$ . Вираз (4) для відгуку відносно  $i$ -ї координати для зручності можна записати у вигляді:

$$v = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i + \hat{\beta}_2 x_i^2, \quad (9)$$

де  $\hat{\beta}$  є лінійними функціями від  $\beta$ .

Для  $i$ -го компоненту нахил відносно  $x_j$  дорівнює:

$$H_{x_i} = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 x_i. \quad (10)$$

Проведемо аналіз рівняння (9) поверхні відгуку. Якщо коефіцієнт  $\hat{\beta}_2$  позитивний, то вздовж вісі  $i$ -го компоненту ПВ наближається до мінімуму і навіть може досягти його. Якщо  $\hat{\beta}_2$  від'ємний, то ПВ наближається до максимуму, або досягла його. Знак і величина  $\hat{\beta}_2$  відносно  $\beta_1$  і масштаб  $x_i$  визначають крутість нахилу, яка є мірою близькості ПВ в точці  $x_i$  до мінімуму або максимуму. Знак нахилу  $H_{x_i}$  показує, що в точці  $x_i$  наявність екстремуму, або він ще не досягнутий чи вже пройдений. Співвідношення між знаком коефіцієнта  $\hat{\beta}_2$  і знаком нахилу  $H_{x_i}$  показує на наявність максимуму або мінімуму ПВ по вісі  $i$ -го компоненту і його розташування відносно  $j$ -го компоненту показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Співвідношення між знаком коефіцієнта  $\hat{\beta}_2$  і знаком нахилу  $H_{x_i}$ 

Знак коефіцієнта $\hat{\beta}_2$	Знак нахилу $H_{x_i}$
+ (максимум пройдено)	+ (максимум ще не досягнуто)
- (максимум ще не досягнуто)	- (максимум пройдено)

Нахил  $H_{x_i}$  вздовж  $i$ -го компоненту можна представити тангенсом кута нахилу ПВ в точці  $x_i$ . Чим

більше значення тангенса, тим вище швидкість зміни ПВ в точці  $x_i$ . На рис. 1 зменшення величини позитивного нахилу відповідає збільшенню значення  $x_i$ . Зменшення нахилу означає наближення до максимуму ПВ, так як  $\hat{\beta}_2$  від'ємний.

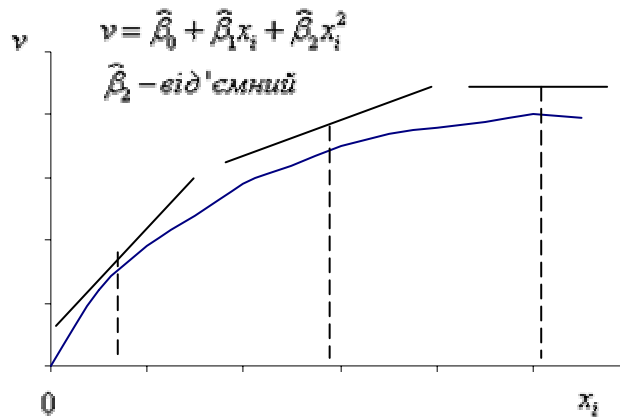


Рис. 1. Зменшення тангенса ПВ при збільшенні  $x_i$

Для розрахунку моделі третього порядку (3) треба додати до  $\{q, 2\}$  решітчастого симплексу точки в центрах двовірних граней. Тоді  $\beta_{ijk} = 27v_{ijk} - 12(v_{ij} + v_{ik} + v_{jk}) + 3(v_i + v_j + v_k)$  при  $i < j < k$ , де  $v_{ijk}$  - відгук в центрі грані з вершинами  $i$ -ю,  $j$ -ю і  $k$ -ю. Наприклад, для  $q=3$  при квадратичній ПВ та  $i=1$  із виразу (5) отримуємо:

$$H_{x_1} = \beta_1 - 0,5\{\beta_2 + \beta_3 + \beta_{23} - (\beta_{12} + \beta_{13})\} + \{0,5\beta_{23} - (\beta_{12} + \beta_{13})\}x_1, \quad (11)$$

що еквівалентно наступному виразу:

$$H_{x_1} = v_1(4x_1 - 1) + (v_2 + v_3) \cdot 0,5(2x_1 - 1) + (v_{12} + v_{13})(2 - 4x_1) + v_{23}(2x_1 - 2). \quad (12)$$

Вираз (12) отримано в точках  $\{q, 2\}$  симплексної решітки із виразу (8).

Нами досліджено властивості ряду трьохкомпонентних сумішей на основі нових ПАР типу "Фібротекс", які отримані в ХДТУ. Метою дослідження була розробка нових ефективних складів ТРД з високими міючими властивостями. Для характеристики властивостей сумішей вибрали крайовий кут змочування  $\theta$  і пінне число  $P$ . Тобто треба було знайти суміш, яка б забезпечувала мінімальні значення кута змочування і пінного числа. Дослідження проводили на локальній області факторного простору. Зокрема при дослідженні властивостей трьохкомпонентної суміші "Фібро-текс-40" ( $x_1$ ) - "Твін-80" ( $x_2$ ) - "ОС-20" ( $x_3$ ) факторний простір був обмежений зверху і знизу:  $0,5 \leq x_1 \leq 0,7$ ;  $0,15 \leq x_2 \leq 0,30$ ;  $0,05 \leq x_3 \leq 0,20$ , тобто уявляв собою багатокутник з шістьма сторонами і вершинами. Оскільки багатокутник дослідження невеликий в порівнянні із всією областю досліджень, то був зроблений перехід до псевдо компонентів  $x'_i$ . Поліноми Шефе другого порядку мають вигляд:

$$\hat{\theta} = 31,90x'_1 + 33,95x'_2 + 38,85x'_3 - 79,00x'_1x'_2 - 73,30x'_1x'_3 - 74,20x'_2x'_3, \quad (13)$$

$$\hat{P} = 18,50x'_1 + 23,50x'_2 + 20,50x'_3 - 4,00x'_1x'_2 - 4,00x'_1x'_3 - 30,00x'_2x'_3, \quad (14)$$

Для моделі (13) нахили по окремих компонентах мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} H_{x_1} &= 116,55x'_1 - 44,04; \\ H_{x_2} &= 116,55x'_2 - 41,38; \\ H_{x_3} &= 116,55x'_3 - 34,03. \end{aligned} \quad (15)$$

Для моделі (14) нахили по окремих компонентах мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} H_{x_1} &= 32,10x'_1 - 18,50; \\ H_{x_2} &= 32,10x'_2 - 11,04; \\ H_{x_3} &= 32,10x'_3 - 15,50. \end{aligned} \quad (16)$$

Як видно з рівнянь (15) і (16), для вказаних моделей коефіцієнти  $b_i$  при  $x'_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  рівні, що означає однакову швидкість зміни нахилів по усіх осях при однаковому збільшенні  $x'_i$ . На рис. 2 для моделі (13) ця

рівність показана паралельними прямими. Аналогічні графіки нахилів були побудовані для моделі (14).

Проведемо аналіз рівнянь (14) (15) та їх графіків. Як видно із графіку на рис. 2, при значеннях  $x'_1 < 0,364$ ,  $x'_2 < 0,345$  і  $x'_3 < 0,291$  нахил від'ємний. Нахил збільшується при збільшенні  $x'_i$ , так як коефіцієнти при  $x'_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  позитивні. Мінімуми ПВ для крайового кута змочування відповідають точкам перетину прямих  $x'_1$ ,  $x'_2$ ,  $x'_3$  з віссю абсцис, що відповідає нульовим нахилам. Для моделі (13) стаціонарні точки лежать усередині області дослідження, так як лінії рівня ПВ мало відрізняються від концентричних кіл, бо коефіцієнти  $\beta_{ij}$  практично однакові за величиною і знаками. Для моделі (14) мінімуми ПВ спостерігаються при значеннях  $x'_1 < 0,245$ ,  $x'_2 < 0,362$  і  $x'_3 < 0,393$ . Для крайового кута змочування величини коефіцієнтів (-44,45) при  $x'_1$  і (-34,03)

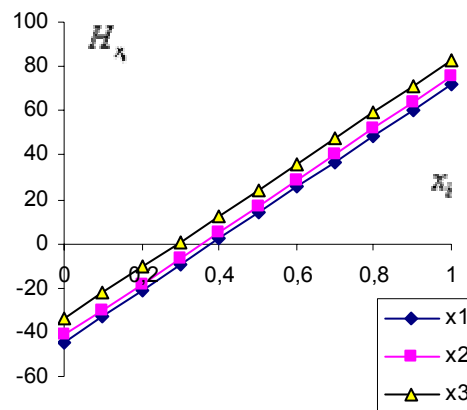


Рис. 2. Нахили  $x_i$  для моделі залежності крайового кута змочування від складу суміші

при  $x'_3$  відрізняються в 1,30 рази і можна сказати, що наближення до мінімуму у "Фібро-текс-40" на таку ж величину більше, чи у "ОС-20". Для пінного числа швидкість наближення до мінімуму для "Фібро-текс-40" в 1,68 разів більше, чим "Твін-80" і в 1,19 разів більше, чим у "ОС-20".

Можна сказати, що в  $q$ -компонентній системі вираз (5) відповідає градієнту  $(q-1)$ -мірної поверхні по вісі  $i$ -го компонента. Формула (5) носить достатньо загальний характер і застосовується для будь-якого числа компонентів. Вона має однаковий вид і для  $q$ -компонентній системи і для підпростору  $k \leq q$   $q$ -компонентної системи, яка містить  $i$ -й компонент. При оцінці нахилу (5) використовують не самі параметри  $\beta_i$  і  $\beta_{ij}$ , а їх оцінки  $\hat{\beta}_i$  і  $\hat{\beta}_{ij}$ . При підстановці їх в рівняння (6) і (7) отримуємо оцінку нахилу у вигляді  $H_{x_i} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_i$ . Визначити оцінки нахилу по  $x_i$  можна також шляхом безпосереднього дослідження значень вихідного параметру в точках симплекс-решітчастого плану. Для цього потрібно підставити середні значення  $\bar{Y}_i$  і  $\bar{Y}_{ij}$  замість  $v_i$  і  $v_{ij}$  в формулу (8). Точність оцінки нахилу по  $x_i$  проводять шляхом розрахунку дисперсій окремих спостережень та дисперсій середніх. Методика розрахунку і дослідження оцінки дисперсії нахилу по  $x_i$  детально викладена в роботі [3].

### Висновок

Представлена методика дослідження багатокомпонентних сумішей, яка включає в себе етап розрахунку математичної моделі "склад – властивості" і етап її дослідження за допомогою ПВ по  $x_i$  компоненту. Методика дозволяє за результатами невеликого числа дослідів оцінити відносну важливість кожного компонента в суміші, а також визначити оптимальний її склад з точки зору поставленої цілі.

### Література

1. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков; Под ред. В. А. Вознесенского. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1989. – 329 с.
2. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, 1978. – 319 с.
3. Ott D., Mendenhall W. Designs for estimating the slope of a second order linear model // Technometrics. – 1972. – № 2. – Р. 155 – 159.
4. Смирнова О. К., Пророкова Н. П. Вспомогательные вещества в химико-технологических процессах. Современный ассортимент отечественных текстильно-вспомогательных веществ // Рос. хим. ж-л. (Рос. хим. общ-во им. Д. И. Менделеева). – 2002. – т. XLVI. – № 1. – С. 88 – 95.
5. Богданова Ю.Г., Должикова В.Д., Сумм Б.Д. Влияние смесей поверхностно-активных веществ на смачивание // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 2000. Т. 41. – № 3. – С. 199 – 201.
6. Неволин Ф. В. Химия и технология синтетических моющих веществ. – М.: Пищев. пром-сть, 1971. – 424 с.

Надійшла 19.10.2006 р.

## РОЗРАХУНОК ЗУБЧАСТОПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ З НАПІВКОЛОВИМ ПРОФІЛЕМ ЗУБЦІВ

В статті наведені дані проведених теоретичних і експериментальних досліджень зубчастопасової передачі з напівколовим профілем зубців. В результаті цього одержані математичні залежності для інженерного розрахунку на міцність зубців паса з напівколовим профілем.

В сучасний час немає практично такої галузі промисловості, де б не використовувалась зубчастопасова передача. Область використання зубчастопасової передачі розповсюджується від механічних іграшок і приладів точної (вимірювальної) апаратури до технологічного обладнання потужністю біля 700 кВт. Передача знаходить все більше розповсюдження в приводах верстатів, телеграфних апаратів, кінопроекторах телевізорів і т. п. Але більш широкому впровадженню даного виду передачі заважає відсутність математичних залежностей для її розрахунку. Крім того, використанню зубчастопасової передачі з трапецеїдальним профілем зубців заважала її порівняно мала працездатність при передачі великого навантаження. Поява зубчастопасової передачі з напівколовим профілем зубців вирішує дану проблему, але для більш широкого впровадження даної передачі в промисловість потрібне створення математичного апарату для її розрахунку. Існуюча на даний період методика розрахунку зубчастопасової передачі з трапецеїдальним профілем зубців, яка викладена в працях [1...3], сама по собі вимагає вдосконалення, і крім того потребує додаткової доробки для застосування її в розрахунку передачі з напівколовим профілем зубців. Працездатність і довговічність роботи будь-якої передачі визначається параметрами її самої слабкої ланки. Як показали теоретичні та експериментальні дослідження, найбільше слабкою ланкою являється пас, який за рахунок зачеплення зубців з зубцями шківів передає навантаження, тому необхідно проводити розрахунок зубців паса на міцність. Згідно з проведеними дослідженнями основними напруженнями, що визначають міцність зубців паса і передачі в цілому, є напруження зсуву та зминання, які складають біля 90 %. Для визначення значень вищезазначених напружень скористаємося існуючою методикою розрахунку. Напруження зсуву, що діють в зубцях паса трапецеїдального профілю визначається за формулою (1):

$$\sigma_{zc} = \frac{F \cdot k_d}{Z_0 \cdot S_1 \cdot b \cdot k} \leq [\sigma_{zc.p}] \quad (1)$$

де  $F$  – колова сила, яка передається пасом з трапецеїдним профілем зубців, Н;

$k_d$  – коефіцієнт динамічності навантаження;

$Z_0$  – кількість зубців паса, що знаходяться в зачепленні з меншим шківом;

$S_1$  – ширина дільниці зубця паса, яка приймає участь в передачі корисного навантаження і впливає на величину зсуву зубця, мм;

$b$  – ширина паса, мм;

$k$  – коефіцієнт, який враховує конструктивні параметри передачі з трапецеїдним профілем зубців;

$[\sigma_{zc.p}] = \frac{[\sigma_{zc.}]}{k_{np}}$  – допустиме напруження на зсув з врахуванням умов роботи для передачі з зубцями

трапецеїдального профілю. МПа;

$[\sigma_{zc.}] = 0,86 \cdot \sigma'_b$  – допустиме напруження на зсув. МПа;

$\sigma'_b = (5...7)$  – границя міцності гуми на відрив від основи. МПа;

$k_{np}$  – коефіцієнт працездатності передачі.

Перетворимо вираз (1) для розрахунку передачі з напівколовим профілем зубців враховуючи, що даний вид передачі має ряд переваг, які зв'язані з наступними причинами:

а) передача має меншу концентрацію напруження в ніжці зубця паса за рахунок конструкції;

б) передача дозволяє передавати більш колорі зусилля за рахунок збільшення робочої площини зубців, яка бере участь в передачі колорі зусилля;

в) зубці паса і шківів входять в зачеплення більш плавно і їх конфігурація більше відповідає основному закону зачеплення;

г) розрахунок потрібно вести для найбільш навантаженого зубця паса, тому що навантаження розподіляється не рівномірно серед зубців паса, що знаходяться в зачепленні з зубцями шківів (це твердження відноситься і до зубців з трапецеїдальним профілем).

З врахуванням вищесказаного, вираз (1) прийме вигляд:

$$\sigma_{zc} = \frac{F \cdot k_d \cdot c}{Z_0 \cdot 2R \cdot b} = \frac{F_{1b} \cdot k_d \cdot c}{2R} \leq [\sigma_{zc.p}] \quad (2)$$

де  $F_{1b}$  – колове питоме зусилля, що передається найбільш навантаженим зубцем паса (перший зубець паса, що входить в зачеплення) одиничною шириною паса (тобто 1 мм ширини паса) [4];

$c = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_0 \cdot k_{zc}}$  – емпіричний коефіцієнт, значення якого одержані авторами шляхом експериментальних

досліджень;

$k_1 = 1,3 \dots 1,5$  – коефіцієнт навантаження який враховує режим роботи передачі (більші значення при меншій частоті обертання шківів);

$k_2 = 1,1 \dots 1,2$  – коефіцієнт ширини паса;

$k_0 \approx 3,15$  – коефіцієнт, який враховує конструктивні параметри передачі з напівкруглим профілем зубців;

$k_{zc} = 1,33 \dots 1,59$  – коефіцієнт концентрації напруження зсуву;

$2R_1$  – ширина дільниці зубця паса, яка визначається через радіус кола, яке окреслює зубець паса, мм.

Розрахунок за напруженням зминання зубців трапецеїдального профілю є аналогічним розрахунку на зсув і проводиться за наступним виразом

$$\sigma_{zm} = \frac{F \cdot k_d}{Z_0 \cdot h_1 \cdot b \cdot k} \leq [\sigma_{zm.p}] \quad (3)$$

де  $[\sigma_{zm.p}] = \frac{[\sigma_{zm.}]}{k_{np}}$  – допустиме напруження для зубців паса трапецеїдного профілю на зминання з

врахуванням режиму роботи передачі. МПа;

$[\sigma_{zm.}] = 0,75 \cdot \sigma_b$  – допустиме напруження для зубців паса на зминання. МПа;

$\sigma_b = 9 \dots 12$  – границя міцності гуми при розтягу; МПа;

$h_1$  – робоча висота зубця паса трапецеїдного профілю (тобто висота зубця паса яка безпосередньо бере участь в передачі навантаження), МПа.

Перетворимо вираз (3) для розрахунку передачі з напівколовим профілем зубців

$$\sigma_{zm} = \frac{F \cdot k_d \cdot c_1}{Z_0 \cdot h'_1 \cdot b} = \frac{F_{1b} \cdot k_d \cdot c_1}{h'_1} \leq [\sigma_{zm.p}] \quad (4)$$

де  $c = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_0 \cdot k_4}$  – емпіричний коефіцієнт, значення якого одержані авторами шляхом експериментальних

досліджень;

$k_4 = 1,3 \dots 1,5$  – коефіцієнт концентрації напруження зминання;

$h'_1$  – робоча висота зубця паса напівкологового профілю, мм.

Необхідно відмітити, що напруження зминання для зубчастопасової передачі з напівколовим профілем зубців мають менше значення (за рахунок конструкції зубців паса) ніж для передачі з трапецеїдним профілем зубців.

Отримані математичні залежності (2, 4) дають можливість зробити перевірочний розрахунок передачі з напівколовим профілем зубців за напруженням зсуву та зминання. Вибір та розрахунок останніх параметрів передачі з напівколовим профілем зубців проводиться за існуючою методикою [1...3] з врахуванням конструктивних параметрів передачі.

Висновки

В результаті проведеного теоретичного та експериментального досліджень отримані математичні залежності, які дозволяють провести розрахунок на міцність передачі з напівкруглим профілем зубців.

### Література

1. Воробьев И.И. Ременные передачи. – М.: Машиностроение. 1979. – 168 с.
2. Гуревич Ю.Е. Деформация зубьев зубчатых ремней. // Передачи и опоры. – М.: Мосстанкин. 1974. – С. 142-152.
3. Гуревич Ю.Е., Жуков Е.П. Расчет передачи зубчатым ремнем. // Передачи и опоры. – М.: Мосстанкин, . 1974. – С. 113-130.

4. Овчинніков О.О. Графічне дослідження розподілу зусилля між зубцями паса напівкологового профілю для випадку, коли крок паса дорівнює або менше кроку шківів // Збірник наукових праць Хмельницький: Видавництво національної Академії ДПСУ, 2004. – № 32. – Ч.2. – С. 38-42

Надійшла 7.10.2006 р.

УДК 621.941

О.М. МАКОВКІН, Я.М. ГЛАДКИЙ, В.В. МИЛЬКО  
Хмельницький національний університет

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

*Розроблена експериментально-теоретична методика прогнозування зносостійкості, яка базується на проведенні експериментальної частини з дотриманням вимог математичного планування використовуючи модернізовану машину тертя, яка реєструє величину зношування в процесі тертя. Дані отримані внаслідок проведення експерименту для певної пари тертя опрацьовуються за розробленою методикою для отримання математичної моделі зношування.*

Розвиток трибології призвів до необхідності розробки моделей оптимізації складних систем. Успішне рішення складних комплексних задач, які неможливо звести до одного відомого алгоритму, можливо при використанні моделювання, в першу чергу, на основі системного аналізу.

Для задач тертя та зношування особливе значення набувають методи оцінки, які визначають процеси та явища через модельний експеримент, описання та результати якого представляють у критеріальній формі. Використання методів моделювання при правильному та об'єктивному підході узагальнення результатів з оцінкою їх достовірності та точності дозволяє значно прискорити впровадження нових технічних рішень та скоротити трудові затрати та витрати дефіцитних матеріалів.

Теоретичне узагальнення нагромадженого досвіду дозволило встановити, що обов'язковим в моделюванні являється наявність проміжного об'єкту (як правило малогабаритний зразок), який замінює досліджуваній об'єкт (вузол тертя) та знаходиться з ним в деякій відповідності. Інколи замість зразків застосовують один із типів вузлів тертя, який фізично подібний досліджуваному об'єкту.

Сучасний етап розвитку техніки характеризується значним ростом строків служби та підвищення рівня надійності комплексних систем, а також машин, які в них входять, механізмів, приладів та інших промислових виробів. В таких умовах звичайні методи визначення якості досліджуваних та серійних виробів – довготривалі стендові дослідження натурних об'єктів (вузлів) – стають неможливими, так як строки служби досягають декількох років або навіть десятків років. У зв'язку з цим проблема розробки та застосування методів прискорених випробовувань стає загально технічною проблемою.

На нашу думку, недоліком стендового дослідження вузла є те, що дослідження такого роду не надають, не накопичують та не пояснюють фізичні, хімічні, трибологічні характеристики будь-якої трибопари, а найслабкішим місцем даної системи є те, що вона не дає цінної інформації, яка може застосовуватись у подальшій практиці. Тому даний метод є нераціональним. Слід шукати методи трибологічних досліджень, на нашу думку, які б спиралися на відносно дешеві експериментальні дані з мінімальним впливом людського фактору, затратами часу, матеріалу та енергоресурсів з використання подальшої комп'ютеризованої обробки цих даних з наступним прогнозуванням зношування тої чи іншої трибологічної пари при тих чи інших режимах тертя.

### Методика

При зміні режимів тертя, середовища, трибопар тощо характер зношування змінюється, що, в свою чергу, ускладнює створення загальної формули зношування. Тому ми поставили собі за мету створити метод досліджень, опрацювати результати та в кінцевому результаті отримати формулу, яка б дала змогу прогнозувати зношування на будь-якому пройденому шляху тертя при тих чи інших режимах тертя для будь-якої трибопари, що є в базі, можливо з накопиченням даних впливе і загальна залежність зношування.

В загальному випадку формула зношування наступна [1, 2, 3]:

$$h = C \cdot N^{\alpha} \cdot V^{\beta}, \quad (1)$$

де  $h$  – лінійне зношування (мм, мкм);  $C$  – коефіцієнт “незнання”;  $N$  – нормальна реакція (навантаження) (Н);  $V$  – швидкість (м/с);  $\alpha, \beta$  – коефіцієнти.

Щоб визначити усі невідомі в даному рівнянні, слід провести серію експериментів з вимогами математичного планування. В даному рівнянні є дві змінні, якими можна маніпулювати – швидкість та навантаження для кожного матеріалу. Тобто ми можемо скористатися повнофакторним експериментом типу  $2^2$ , якщо прологарифмувати рівняння (1) отримаємо рівняння (2) [4, 5]:

$$\ln h = \ln C + \alpha \ln N + \beta \ln V. \quad (2)$$

Значення змінних факторів запишемо у вигляді:  $\ln h = Y$ ,  $\ln N = X_1$ ,  $\ln V = X_2$ ,  $\ln C = b_0$ ,  $\alpha = b_1$ ,  $\beta = b_2$ , тоді рівняння (2) матиме вигляд:



$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2, \quad (3)$$

де  $Y$  – лінійне зношування зразка, мм;  $X_1$  – сила притискання зразка до контртіла, Н;  $X_2$  – швидкість ковзання зразка по контртілу, м/с;  $b_0, b_1, b_2$  – коефіцієнти регресії.  
Після цього формується математичний план експерименту:

№ досліду	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$Y$
1	+	-	-	$Y_{11}$
2	+	+	-	$Y_{12}$
3	+	-	+	$Y_{13}$
4	+	+	+	$Y_{14}$

Далі експериментальним шляхом визначаються значення зношування ( $Y$ ) для кожного досліду та проводиться розрахунок необхідних величин згідно із загальновідомими залежностями.

Адекватність перевіряють порівнянням розрахункового та табличного значень критерію Фішера. Якщо  $F_p < F_{\tau}$ , то гіпотеза адекватності рівняння приймається.

Експериментальна робота проводилась на модернізованій універсальній машині тертя мод. УМТ 2168 з автоматичним фіксуванням трибологічних параметрів [6, 7, 8] (лінійне зношування, момент тертя, середня температура в зоні тертя). Параметри записуються в автоматичному режимі з частотою від 0,5 с та формують файл наступного вигляду:

```

ТермоSoft(Base)      12.05.2005 13:50:17
#Активные каналы:   0 1 3 5
#Тип данных:        0
#Вид данных:
#Название каналов:
Канал 1
Канал 2
Канал 4
Канал 6
#Комментарий:
#Таблица:
Время      K1, U      K2, U      K4, U      K6, U
00:00:00    0.063492    0.252747    0.584860    0.000000
00:00:01    0.065553    0.252824    0.585165    0.000000
00:00:02    0.069543    0.253101    0.585513    0.000000
00:00:03    0.073133    0.252990    0.585799    0.000000
00:00:04    0.147463    0.291347    0.585922    0.083639
00:00:05    0.394065    0.315095    0.586274    0.221163
    
```

де K1 – канал, який фіксує момент; K2 – канал який фіксує зношування зразка; K4 – фіксує температуру; K6 – частоту обертання. Усі величини фіксуються у вольтах з точністю до п'ятого знаку після коми. Після чого ці дані опрацьовуються за спеціально створеним алгоритмом розрахунку з допомогою комп'ютеризованих програм, що в кінцевому результаті надає натуральні величини (шлях тертя, момент тертя, лінійне зношування, температуру). Момент тертя та температура переводяться у натуральну величину з допомогою перевідних коефіцієнтів, які отримані внаслідок тарування.

Лінійне зношування прораховується з допомогою контактної задачі Герца [9], оскільки зразок має форму півсфери (рис. 1).

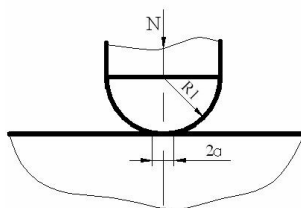


Рис. 1. Схема контактування сферичної поверхні з плоскою

Маючи масив необхідних даних для створення математичної моделі і враховуючи, що криві зношування є складними функціями, запропоновано дану криву розбити на сукупність простих лінійних функцій (рис. 2).

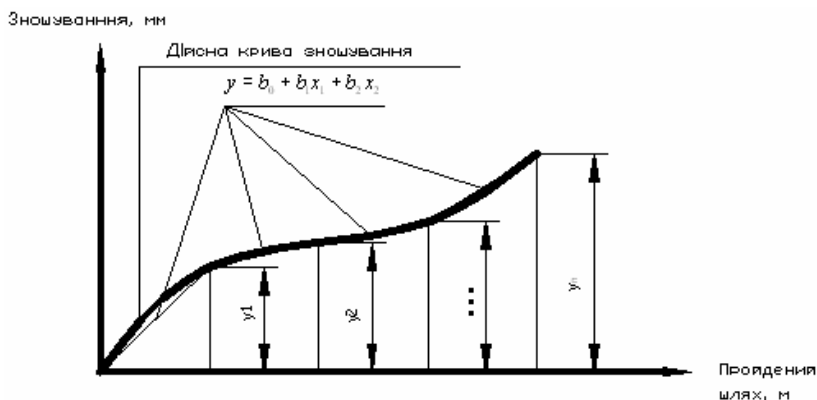


Рис. 2. Заміна графіку дійсної кривої зношування сукупністю лінійних функцій

Тоді математичний план експерименту прийме вигляд:

№ досліду	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	...	Y <sub>n</sub>
1	+	-	-	Y <sub>11</sub>	Y <sub>21</sub>	...	Y <sub>n1</sub>
2	+	+	-	Y <sub>12</sub>	Y <sub>22</sub>	...	Y <sub>n2</sub>
3	+	-	+	Y <sub>13</sub>	Y <sub>23</sub>	...	Y <sub>n3</sub>
4	+	+	+	Y <sub>14</sub>	Y <sub>24</sub>	...	Y <sub>n4</sub>

Маючи масив даних чотирьох експериментів та опрацювавши його, отримуємо масив рівнянь регресії, які в подальшому використовуються для прогнозування процесу зношування.

Для спрощення інтегруємо рівняння (1):

$$h = \frac{C}{N^\alpha \cdot V^\beta}, \quad (4)$$

оскільки  $N$  – навантаження є поняттям загального значення, ми перейшли до питомого тиску  $P$  МПа, тоді рівняння (4) прийме вигляд:

$$h = \frac{C}{P^\alpha \cdot V^\beta}. \quad (5)$$

Таким чином, задача зводиться до визначення коефіцієнтів для певної трибопари. Оскільки експериментальні значення фіксуються та опрацьовуються автоматично спеціально створеним програмним забезпеченням, яке не вимагає від дослідника спеціальних знань, це значно скорочує витрати часу на проведення експерименту та обробку отриманих даних.

Приклад.

Установка – УМТ 2168 (комп'ютеризована).

Схема тертя – диск-палець.

Досліджуваний матеріал – сталь Р6М5 HRC=60.

Контртіло – сталь У10А HRC=55-60.

Діапазон режимів тертя:

- сила притискання, Н ( $x_1$ ) – 20-60.
- швидкість ковзання, м/с ( $x_2$ ) – 0,67 – 1,33.

План експерименту та режими тертя наведено у табл. 1, 2, 3:

Таблиця 1

**Змінні фактори досліду та їх рівні**

Фактори	Кодова не	Натуральні рівні факторів, які відповідають кодуванню		
		верхній +1	основний 0	нижній -1
Сила притискання зразка до контр тіла $N$ , Н	$x_1$	20	40	60
Швидкість ковзання $V$ , м/с	$x_2$	0,67	1	1,33

Таблиця 2

**План експерименту**

№ досліду	Кодоване позначення		Натуральні рівні факторів	
	$x_1$	$x_2$	Сила притискання $N$ , Н	Швидкість ковзання $V$ , м/с
1	-1	-1	60	1,33
2	+1	-1	20	1,33
3	-1	+1	60	0,67
4	+1	+1	20	0,67

Таблиця 3

**Режими тертя**

№ режиму	Параметри тертя		
	Зусилля притискання, Н	Початкове напруження, МПа	Швидкість ковзання, м/с
1	60	2000	1,5
2	20	1300	0,6
3	60	2000	1,5
4	20	1300	0,6

В результаті експерименту та переводу у натуральні величини, тобто із вольт до міліметрів та з часу і частоти обертання до шляху тертя, отримуємо наступні криві зношування:

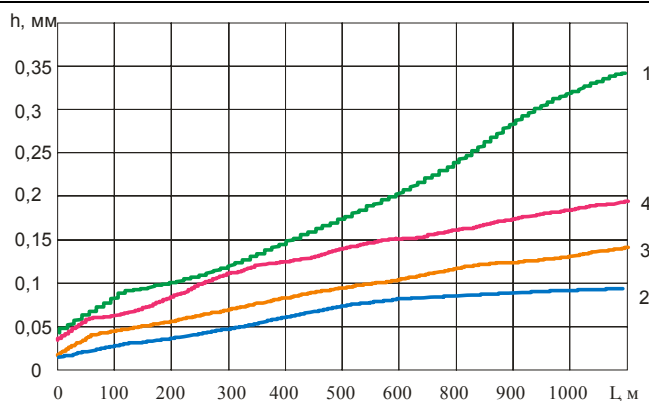


Рис. 3. Криві лінійного зношування (h) від шляху тертя (L), де 1, 2, 3, 4 – криві зношування, які відповідають порядковому номеру досліджу

Далі програма приводить шлях тертя до єдиного кроку методом інтерполяції і визначаються коефіцієнти регресії для кожної ділянки з заданим кроком, внаслідок чого ми отримуємо масив коефіцієнтів регресії, що і являється вихідними даними для прогнозування зношування. Також дану інформацію можна використати для створення узагальнюючих залежностей, зокрема для конкретного випадку вона матиме наступний вигляд:

$$x_1 = \frac{2 \cdot (\ln P - \ln 20)}{\ln 20 - \ln 60} + 1, \quad (6)$$

$$x_2 = \frac{2 \cdot (\ln V - \ln 0,67)}{\ln 0,67 - \ln 1,33} + 1. \quad (7)$$

Якщо рівняння (4) використовувати з середнім значенням коефіцієнтів чи в якомусь діапазоні, то відповідно точність розрахунку в деяких випадках буде недостатньою, тому було досліджено з певною точністю залежність зміни коефіцієнтів регресії від шляху тертя, в наслідок чого було отримано наступні залежності:

$$b_0 = 0,0002L + 0,0409;$$

$$b_1 = 0,00005L + 0,0025;$$

$$b_2 = 0,00004L - 0,0019;$$

$$b_3 = 0,00008L + 0,0094.$$

Підставляємо усі необхідні значення у рівняння (3):

$$h := (0,0002 \cdot L + 0,0409 + [(-0,00005 \cdot L - 0,0025) \cdot X_1] + [(-0,00004 \cdot L - 0,0019) \cdot X_2] + [(0,00008 \cdot L + 0,0094) \cdot X_1 \cdot X_2]). \quad (8)$$

Після перетворення та спрощення отримуємо:

$$h := 5,4 \cdot 10^{-3} \cdot L + 0,2 + 4,2 \cdot 10^{-4} \cdot L \cdot \ln(N) \cdot \ln(V) + 5 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(N) \cdot \ln(V) - (1,6 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot \ln(N) - 5 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(N) - 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot \ln(V) - 0,2 \cdot \ln(V)) \quad (9)$$

Потенціуючи вираз (9), знаходимо залежність зношування від досліджуваних факторів процесу зношування

Використовуючи формулу (9), можна вирахувати лінійне зношування на будь-якій відстані шляху тертя при будь-якому режимі тертя, який лежить в діапазоні планування (табл. 4, рис. 4).

Таблиця 4

**Порівняння величин експериментального та теоретичного лінійного зношування**

Режим тертя		Шлях тертя, м	Лінійне зношування, мм			Режим тертя		Шлях тертя, м	Лінійне зношування, мм		
Зусилля притискання, Н	Швидкість ковзання, м/с		Експериментальне	Теоретичне	Похибка, %	Зусилля притискання, Н	Швидкість ковзання, м/с		Експериментальне	Теоретичне	Похибка, %
60	1,33	500	0,17	0,24	29	60	0,67	500	0,1	0,097	3
60	1,33	1000	0,32	0,43	25	60	0,67	1000	0,13	0,162	20
60	1,33	10000	-	3,76	-	60	0,67	10000	-	1,33	-
20	1,33	500	0,07	0,086	18	20	0,67	500	0,14	0,14	0
20	1,33	1000	0,095	0,14	32	20	0,67	1000	0,18	0,24	25
20	1,33	10000	-	1,13	-	20	0,67	10000	-	1,95	-

Згідно наведених даних похибка не перевищує 30 %.

Якщо використати програмне забезпечення та прикладні програми можливо визначати не лише деякі конкретні точки, а досліджувати та спостерігати за процесом тертя, результат даної обробки зображено на рис. 4.

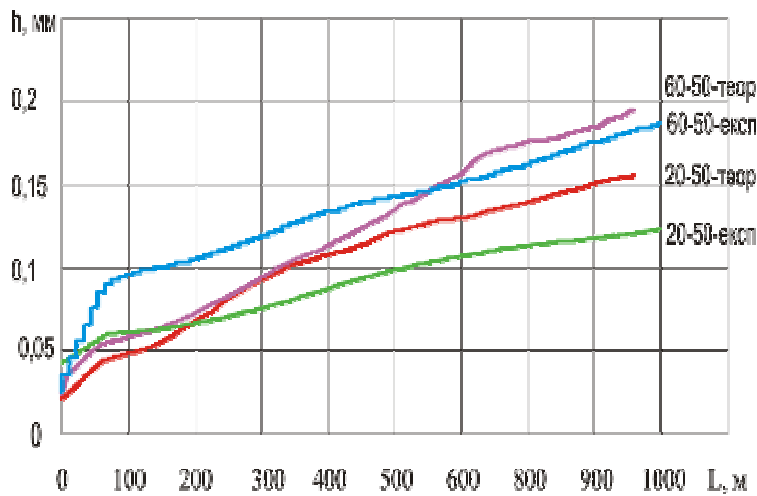


Рис. 4. Криві лінійного зношення (h) від шляху тертя (L), отримані експериментальним та розрахунковим шляхами

### Література

1. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчета на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 525 с.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 479 с.
3. Основы трибологии / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
4. Адлер О.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – Издание 2-е перераб. и доп. – М.: Наука, 1979.
5. Тихомиров В.Б. Математические методы планирования эксперимента при изучении нетканых материалов. – М.: Легкая индустрия, 1968
6. Автоматизація дослідження процесу тертя та зношування // Я.М. Гладкий, А.А. Таранчук, О.М. Маковкін, О.А. Лаба. Вісник хмельницького національного університету
7. Програмно-апаратний комплекс для проведення трибологічних досліджень // Я.М. Гладкий, В.В. Милько, Ю.В. Таран, О.М. Маковкін / Вісник хмельницького національного університету. – № 5. – 2005. – Ч.1. – Т.2
8. Маковкін О.М., Гладкий Я.М. Автоматизація лабораторного обладнання // Матеріали шестой ежегодной конференции с международным участием, 20-24 февраля 2006 г., п. Славское, Карпаты. – К.: УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», 2006. – С. 147-149.
9. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

Надійшла 15.10.2006 р.

УДК 620.178.1

В.С. ПАВЛОВ

Хмельницький національний університет

## ВИБІР КРИТЕРІЮ МІЦНОСТІ В МАШИНОБУДУВАННІ

*Обґрунтовано вибір критерію міцності. За складного напруженого стану критерієм міцності доцільно обрати при руйнуванні відривом найбільшу додатну лінійну деформацію, при руйнуванні зсувом – найбільше дотичне напруження; за лінійного напруженого стану – найбільше нормальне напруження. Запропоновано коефіцієнт запасу визначати шляхом порівняння критеріїв міцності, що відповідають подібним граничному і робочому напруженим станам. Дано визначення подібності напружених станів.*

Критерій міцності – це механічна величина, яку використовують для кількісної оцінки міцності деталі у вигляді коефіцієнта запасу міцності (надалі "коефіцієнт запасу").

$$n = K_L / K, \quad (1)$$

де  $K_L$  і  $K$  – відповідно граничне і максимальне значення критерію в небезпечній точці.

Міцність конструкції відповідає міцності деталі з найменшим коефіцієнтом запасу.

При визначенні коефіцієнта запасу за простих опорів (деформацій) особливих труднощів не виникає. За

статичного навантаження граничні значення критерію (значення граничних напружень) можна знайти в довіднику, за винятком границі текучості пластичного матеріалу при згині. У випадку циклічного навантаження формули для визначення коефіцієнта запасу при довільній характеристиці циклу напружень наведено в [1, с. 61-64].

Визначення коефіцієнта запасу за складного опору суттєво ускладнюється із-за неможливості експериментального визначення граничного напруженого стану.

Стан матеріалу під навантаженням залежить від багатьох факторів, одні з яких є основними, а інші – другорядними. Використання гіпотези міцності (гіпотези про переважний вплив котрогось із факторів на міцність матеріалу) дає можливість оцінити міцність деталі в умовах складного опору.

Проте проблема визначення коефіцієнта запасу в машинобудуванні залишається актуальною. Розрахунки, виконані з використанням гіпотези міцності, досить часто суттєво не збігаються з результатами випробувань.

Причин такої розбіжності може бути декілька.

По-перше, *помилковий вибір фактора*, що служить критерієм міцності.

Наприклад, не можна для визначення коефіцієнта запасу при циклічному навантаженні використовувати гіпотезу питомої енергії формозміни. Оскільки, як відмічено в [2, с.123], енергія є скалярна величина. А граничне напруження матеріалу (границя витривалості) залежить від коефіцієнта несиметрії циклу напружень, що визначається як відношення двох колінарних векторів, що лежать на одній прямій, – мінімального і максимального напружень циклу напружень. Тому граничне значення критерію також повинно бути функцією відношення двох колінарних векторів – мінімального і максимального значень критеріїв циклу критеріїв. Тобто критерій міцності повинен мати векторну природу.

По-друге, *неправильне визначення або застосування граничного значення  $K_L$  критерію міцності*.

Нижче наведено приклади його неправильного застосування.

*Приклад 1. Простий опір.* В розрахунках на згин з пластичних матеріалів замість границі текучості  $\sigma_{тз}$  при згині використовують границю текучості  $\sigma_{тр}$  при розтягу.

Разом з тим, як видно з наведених в роботах [3], [4] даних, границя текучості при згині стержнів квадратного і прямокутного перерізів на 36...45 % вища порівняно з розтягом.

Циклічна міцність пластичного матеріалу при згині також значно вища, ніж при розтягу. Наприклад, границя витривалості  $\sigma_{-1}$  конструкційних сталей при згині в середньому на 35 % вища порівняно з  $\sigma_{-1р}$  при розтягу.

*Приклад 2. Складний опір.* В розрахунках на міцність використовують фундаментальне припущення, на якому базуються сучасні гіпотези міцності, про незмінність граничного значення критерію міцності при різних напружених станах.

В роботі [2, с.122] на прикладі визначення коефіцієнта запасу деталі із сірого чавуну СЧ 21, що зазнає сумісного розтягу і згину, показано, що при визначенні граничного значення критерію за складного опору потрібно враховувати його граничні значення за кожного з простих опорів, що є компонентами складного опору, і співвідношення між значеннями критерію, що відповідають при даному навантаженні кожному з простих опорів.

Ще однією з причин розбіжності результатів розрахунків з використанням гіпотез і результатів випробувань можуть бути похибки при визначенні максимального значення  $K$  критерію міцності в небезпечній точці.

Підсумовуючи викладені вище дані і міркування, можна відмітити наступне.

1) Особливості деформування елемента реального тіла залежать від деформованого і напруженого станів сусідніх елементів і від характеру напруженого стану всього тіла, про що свідчать значна відмінність при розтягу і згині границь текучості пластичного матеріалу і границь міцності крихкого матеріалу.

2) Поділ напружених станів на об'ємний, плоский і лінійний, що цілком задовільняє запити теорії пружності і пластичності, при застосуванні до розрахунків деталей, виготовлених з реальних матеріалів, виявляється, як зазначено в [5, с.265], недостатнім.

3) Коефіцієнт запасу слід визначати як відношення значень  $K_L$  і  $K$  критерію міцності, що відповідають *подібним* граничному і робочому напруженим станам.

*Напружені стани подібні*, якщо:

а) вони обумовлені опорами, що мають однакові компоненти (складові);

б) співвідношення між максимальними напруженнями в небезпечній точці, спричиненими кожним з компонентів, однакові.

Метою даної роботи є обґрунтування вибору критерію міцності крихких і пластичних конструкційних матеріалів.

## 1. Вимоги до критерію міцності

1. Бути зрозумілим за своїм фізичним змістом.
2. Відсутність потреби в проведенні спеціальних випробувань, крім стандартних, для визначення його граничного значення.
3. Простота формул для визначення коефіцієнта запасу з використанням критерію.
4. Можливість використання формул як за статичного, так і за циклічного навантажень.

5. Мінімальна розбіжність результатів розрахунку і випробування.

## 2. Обґрунтування вибору критерію міцності

Передумовою обґрунтованого вибору критерію міцності за складного опору є дослідження особливостей руйнування матеріалу за простих опорів.

### 2.1. Види руйнування металічних конструкційних матеріалів

Найбільший практичний інтерес в цьому плані мають матеріали, що є основою сучасного машинобудування – чавуни і конструкційні сталі. Вони є характерними представниками відповідно крихких і пластичних матеріалів.

Значний внесок в науку про міцність матеріалів за різних характерів навантаження (статичного, циклічного, динамічного) зробив академік АН УРСР М.М.Давиденков. На базі власного досвіду та аналізу робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників він прийшов до висновку, що руйнування металу з гексагональною або об'ємноцентрованою кубічною ґраткою (яку переважно мають чорні метали) може відбуватися двома способами: шляхом відриву – роз'єднання атомів, при якому ґратка зразу розпадається на дві частини, або шляхом зсуву ("зрізу"), при якому ґратка спочатку деформується, а розпадається лише після значного спотворення.

Перший процес, руйнування відривом, відбувається без помітних залишкових деформацій. Такий процес називається крихким руйнуванням. Поверхня зламу має кристалічний вигляд, а її рентгенівське дослідження вказує на те, що злам відбувається по площинах спайності кристалів. Поверхня зламу збігається з площиною дії найбільших розтягуючи напружень  $\sigma_{\max}$ .

Другий процес, руйнування зсувом, супроводжується значними залишковими (пластичними) деформаціями. Поверхня зламу має волокнистий вигляд і позбавлена кристалічного блиску. Вона збігається з площиною дії найбільших дотичних напружень  $\tau_{\max}$ .

Щоб кожний з цих процесів почався, відповідні напруження  $\sigma_{\max}$  і  $\tau_{\max}$  в деталі повинні досягти деяких граничних значень  $\sigma_L$  і  $\tau_L$ , притаманних даному матеріалу в даному стані. Який з цих процесів наступить раніше, залежить від: 1) співвідношення між  $\sigma_{\max}$  і  $\tau_{\max}$  і 2) співвідношення між  $\sigma_L$  і  $\tau_L$  ( $\sigma_L = S_{\text{відр}}$  – крихка міцність або "напруження відриву",  $\tau_L = \tau_T$  – границя текучості) [6, с.320].

Співвідношення між  $\sigma_{\max}$  і  $\tau_{\max}$  характеризується коефіцієнтом "м'якості"

$$\alpha = \tau_{\max} / \sigma_{\max}. \quad (2)$$

Залежність типу руйнування від коефіцієнта  $\alpha$  добре ілюструють результати дослідів, викладені в роботах [7] і [8], в яких кручення спричинило зріз по площині з  $\tau_{\max}$ , а згин – відрив по площині з  $\sigma_{\max}$ .

При крученні  $\alpha_{\text{кр}} = \tau_{\max} / \sigma_{\max} = \tau_{\max} / \sigma_1 = \tau_{\max} / \tau_{\max} = 1$ .

При розтягу і згині  $\alpha_{\text{р}} = \alpha_{\text{зг}} = \tau_{\max} / \sigma_{\max} = (\sigma_{\max} / 2) / \sigma_{\max} = 0,5$ .

Тобто зі зменшенням коефіцієнта "м'якості" руйнування зсувом змінилось на руйнування відривом.

З викладеного вище можна зробити висновки:

1) характер руйнування матеріалу (відривом чи зсувом) залежить від стану матеріалу (крихкий чи пластичний) і умов деформування;

2) якщо при крученні руйнування відбувається відривом, то при складному опорі характер руйнування буде таким же, відривом, оскільки коефіцієнт "м'якості" при деформації простого кручення найбільший порівняно з іншими простими опорами;

3) якщо при розтягу (або згині) руйнування відбувається зсувом, то при складному опорі процес руйнування буде таким же, зсувом, оскільки при деформації згину коефіцієнт "м'якості" мінімальний;

4) у випадку руйнування при крученні зсувом, а при розтягу (або згині) відривом, для з'ясування характеру руйнування при складному опорі потрібно виконати додаткові дослідження.

### 2.2. Вибір критерію міцності

Критерієм міцності може бути причина руйнування або інший фактор, що лінійно залежить від цієї причини.

З'ясувати причину руйнування допомагає вивчення особливостей процесу і стану поверхні руйнування.

#### 2.2.1. Руйнування відривом

Як зазначено вище, площина руйнування в цьому випадку збігається з площиною дії  $\sigma_{\max}$  – найбільших розтягуючих нормальних напружень.

Тому можна припустити, що причиною руйнування є  $\sigma_{\max}$  або  $\epsilon_{\max}$  – найбільша додатна лінійна деформація (найбільша ДЛД), що співпадає за напрямком з  $\sigma_{\max}$ .

Між нормальним напруженням і лінійною деформацією існує лінійна залежність у вигляді закону Гука:

$$\sigma = \epsilon E. \quad (3)$$

При складному напруженому стані ця залежність для небезпечної точки в небезпечному напрямку набуває вигляду:

$$\sigma_{\max} = \epsilon_{\max} E. \quad (4)$$

Максимальну ДЛД обчислюють за формулою узагальненого закону Гука:

$$\epsilon_{\max} = \epsilon_1 = (\sigma_1 - \mu (\sigma_2 + \sigma_3)) / E \quad (\sigma_1 \geq 0), \quad (5)$$

де  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  – головні напруження в небезпечній точці;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона;

$E$  – модуль пружності при розтягу.

Вияснення питання про причину руйнування,  $\sigma_{\max}$  чи  $\varepsilon_{\max}$ , в даному випадку не є актуальним. Адже між цими величинами, як видно з виразу (4), існує лінійна залежність. Тому в ролі критерію міцності вони рівноцінні. Але в користуванні більш зручною є величина  $\varepsilon_{\max}$ : вона є первинною,  $\sigma_{\max}$  можна визначити лише після обчислення  $\varepsilon_{\max}$ .

Таким чином, за критерій міцності деталей з матеріалу, що руйнується відривом, доцільно використати *найбільшу додатну лінійну деформацію*.

### 2.2.2. Руйнування зсувом

Ознакою початку руйнування є поява пластичних деформацій. Площина руйнування збігається з площиною дії найбільших дотичних напружень. Граничний стан матеріалу настає за умови:

$$\tau_{\max} = \tau_T, \quad (6)$$

де  $\tau_T$  – границя текучості.

Тому  $\tau_{\max}$  може бути причиною руйнування.

Але причиною руйнування може бути і  $\gamma_{\max}$  – найбільша деформація зсуву. Як відомо, в межах пружності між ними існує лінійна залежність:

$$\tau_{\max} = \gamma_{\max} G, \quad (7)$$

де  $G$  – модуль зсуву.

Отже величини  $\tau_{\max}$  і  $\gamma_{\max}$  як критерії міцності рівноцінні. Але в користуванні більш зручним є параметр  $\tau_{\max}$ . Він є первинним:  $\gamma_{\max}$  можна обчислити лише після визначення  $\tau_{\max}$ .

При довільному напруженому стані максимальне дотичне напруження обчислюють за формулою

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2. \quad (8)$$

Тому при руйнуванні матеріалу шляхом зсуву як *критерій міцності* слід використати *найбільше дотичне напруження*.

### 2.2.3. Руйнування за лінійного напруженого стану

Окремого розгляду потребує питання вибору критерію міцності при складному опорі, що спричиняє в небезпечній точці лінійний напружений стан.

В цьому випадку напружений стан характеризується одним компонентом: головним напруженням  $\sigma_1 > 0$  або  $\sigma_3 < 0$ .

Найбільша ДЛД, згідно з (5), буде обчислюватись за формулою

$$\varepsilon_{\max} = \sigma_1 / E \text{ або } \varepsilon_{\max} = -\mu \sigma_3 / E. \quad (9), (10)$$

Найбільше дотичне напруження, згідно з (8), обчислюється за формулою

$$\tau_{\max} = \sigma_1 / 2 \text{ або } \tau_{\max} = -\sigma_3 / 2. \quad (11), (12)$$

Виходячи з наведених вище міркувань і формул (9), (10) та (11), (12), можна зробити висновок: при складному опорі, що спричиняє в небезпечній точці *лінійний напружений стан*, за критерій міцності доцільно використати *найбільше за величиною нормальне напруження*.

## Висновки

1. Причина руйнування матеріалу визначається видом руйнування (відривом чи зсувом).
2. Причина руйнування відривом – найбільша додатна лінійна деформація або найбільше нормальне напруження, причина руйнування зсувом – найбільше дотичне напруження або найбільша деформація зсуву.
3. Вибір критерію залежить від причини руйнування, зручності його використання в розрахунках і виду напруженого стану.
4. За складного напруження стану при руйнуванні відривом критерієм міцності доцільно обрати найбільшу додатну лінійну деформацію, при руйнування зсувом – найбільше дотичне напруження.
5. За лінійного напруженого стану критерієм міцності доцільно обрати найбільше нормальне напруження.
6. Коефіцієнт запасу визначається шляхом порівняння значень критерію при подібних граничному і робочому напружених станах.
7. Порівнювати небезпечність напружених станів, що не є подібними, можна за відповідними коефіцієнтами запасу.

## Література

1. Павлов В.С. До питання про визначення коефіцієнта запасу в машинобудуванні, повідомлення 1. // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2005. – № 5, технічні науки, ч.1, т.1, с.58...64.
2. Павлов В.С. До питання про визначення коефіцієнта запасу в машинобудуванні, повідомлення 2 // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2005. – № 6, технічні науки, т.2, с.114...124.
3. A.Thum U.F. Wunderlich. Forschung Ingen. – Wes.3 (1932),261.
4. W.Kuntze. Der Stahlbau (1933),Heft 7.
5. Пономарев С.Д. Расчёты на прочность в машиностроении, т.1. – М.: Государственное научно-

техническое издательство машиностроительной литературы, 1956 – 884 с.

6. Давиденков Н.Н. Избранные труды: В 2-х т. – К.: Наукова думка. Т.1. Динамическая прочность и хрупкость металлов. 1981. – 704 с.

7. Люрсен Г. и Грин О. Просидингс АСТМ, XXXIII, (1933); Трансэкшнс АСМ, XXII, 311 (1934).

8. Ратнер С.И. Заводская лаборатория, XII, 2, 227 (1946).

Надійшла 12.10.2006 р.

УДК 621.01

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ  
Хмельницький національний університет

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЖИЛЬНИХ ШЕСТИЛАНКОВИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ, ЩО ПОБУДОВАНІ НА ОСНОВІ ДВОКРИВОШИПНИХ МЕХАНІЗМІВ

*В статті розглянуто питання кінематичного та кінетостатичного розрахунків важільних шестиланкових механізмів із періодичною зупинкою вихідної ланки. Проведено комп'ютерне моделювання вказаних механізмів у системі SolidWorks з використанням системи інженерного аналізу COSMOSMotion. Наведені деякі результати.*

При проектуванні сучасних машин, часто виникає задача створення механізмів, що здатні забезпечити періодичну зупинку вихідної ланки підчас неперервного обертання вхідної ланки. Для цього можуть бути використані різні типи механізмів, зокрема кулачкові, але, як відомо [1-9], в багатьох випадках доцільніше використовувати важільні механізми, оскільки, внаслідок відсутності вищих кінематичних пар, вони практично є більш надійними та довговічними, що важливо при проектуванні машин-автоматів. Питанню синтезу та аналізу таких механізмів присвячено багато робіт, зокрема [1-9].

Одним з основних етапів при проектуванні важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки є синтез базового напрямного механізму. Одним з таких механізмів, може бути шарнірний чотириланковий механізм, причому, як показали проведені нами дослідження [6], для цього можна використовувати не тільки кривошипно-коромислові та двокоромислові механізми, але й двокривошипні.

При проектуванні механізмів із зупинкою вихідної ланки головною умовою синтезу є, звичайно, забезпечення заданої тривалості зупинки, але, як відомо, задану тривалість зупинки можна забезпечити за допомогою великої кількості механізмів, отже виникає необхідність у проведенні оптимізаційного синтезу з врахуванням додаткових вимог, зокрема однією з таких вимог може бути забезпечення найменших габаритних розмірів механізму, що, в свою чергу, визначає механізм меншої маси та відповідно металоємкості. До того ж, в багатьох випадках при проектуванні машин однією з головних умов синтезу є забезпечення заданого ходу вихідної ланки, оскільки механізм призначений для проведення певної технологічної операції, а отже величина максимального ходу є важливою. Таким чином, виникає задача у проектуванні механізмів, які б забезпечували задану тривалість зупинки вихідної ланки і мали б при цьому якомога менші габаритні розміри, металоємкість, забезпечуючи при цьому заданий хід вихідної ланки. Це, в свою чергу, можливо в тому випадку, коли синтезований механізм забезпечує якомога більший хід вихідної ланки. Якщо навіть величина цього ходу виявиться більшою, ніж це необхідно за умов синтезу, всі розміри механізму можна пропорційно зменшити, що призведе до зменшення габаритів та маси механізму, а внаслідок цього – зменшення сил інерції ланок та реакцій у кінематичних парах механізму. Як показали проведені нами дослідження [6], ця задача може бути вирішена за допомогою двокривошипних механізмів.

Оскільки двокривошипні механізми забезпечують величину максимального ходу геометрично, вони у багатьох випадках мають ряд переваг і можуть бути використані як базові при проектуванні механізмів із зупинкою вихідної ланки. Отже, при проектуванні механізмів із зупинкою, використання двокривошипних механізмів замість кривошипно-коромислових має такі переваги:

- можливість забезпечення значно більших величин максимального ходу вихідної ланки;
- оскільки величина максимального ходу у багатьох випадках задається конструктором, використання двокривошипних механізмів, що забезпечують більшу величину цього ходу, дозволяє проектувати механізми, що мають менші габаритні розміри, металоємкість, а значить меншу масу, сили інерції та реакції у кінематичних парах;
- кривошипно-коромислові механізми мають два положення, коли кривошип паралельний коромислу і в таких положеннях особливі точки шатунної площини, що використовуються при синтезі механізмів із зупинкою, знаходяться в нескінченності. Крім того, існує цілий ряд інших положень, коли кривошип і коромисло утворюють невеликий кут і тоді синтезований механізм має неконструктивні розміри внаслідок того, що знайдена особлива точка шатунної площини знаходиться на значній відстані. У двокривошипних механізмах, як буде показано нижче, таких положень, як правило, немає.

Як було встановлено, крім зазначених вище переваг, двокривошипні механізми мають такі недоліки:





Механізм забезпечує зупинку вихідної ланки  $\alpha_{\Sigma} = 60^\circ$  і має наступні геометричні параметри, що були визначені за допомогою методів синтезу, описаних у [6]:

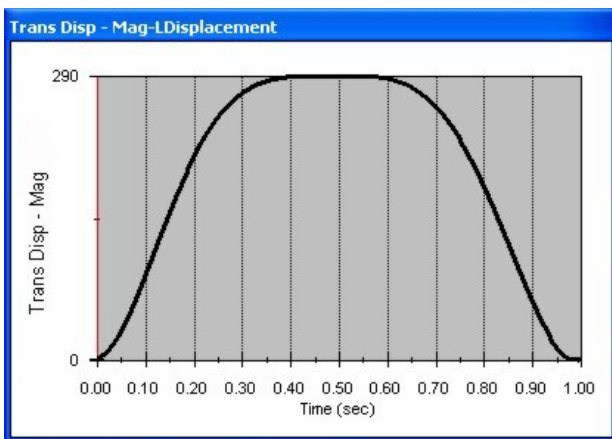
Таблиця 1  
Геометричні параметри механізму

$r = l_{OA}$	$b = l_{AB}$	$a = l_{OC}$
0.7	0.56	0.2
$c = l_{BC}$	$k = l_{BD}$	Кут $\Omega$ , град
0.58	0.78400952	141.95639
Максимальний хід вихідної ланки $S_{\max}$	Відхилення $2E$ , %	Вистій вихідної ланки, $\alpha_{\Sigma}$ , град.
1.4512715	0,295	60

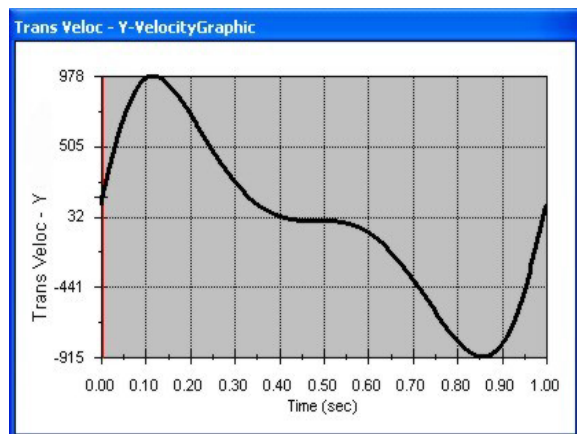
За допомогою системи інженерного аналізу COSMOSMotion, було проведено кінематичне та кінетостатичне дослідження розробленої комп'ютерної моделі. На рис. 3 показано деякі результати дослідження, яке підтвердило працездатність спроектованого механізму, а також наявність зупинки вихідної ланки заданої тривалості, як видно з діаграми переміщень, показаної на рис. 3, а.



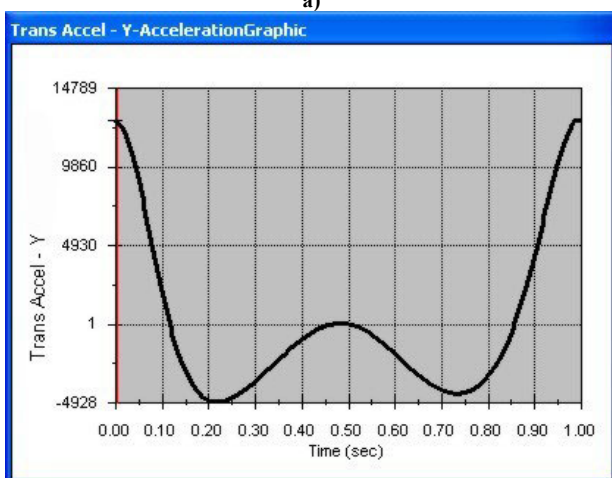
Рис. 2. Комп'ютерна модель шестиланкового важільного механізму із зупинкою вихідної ланки



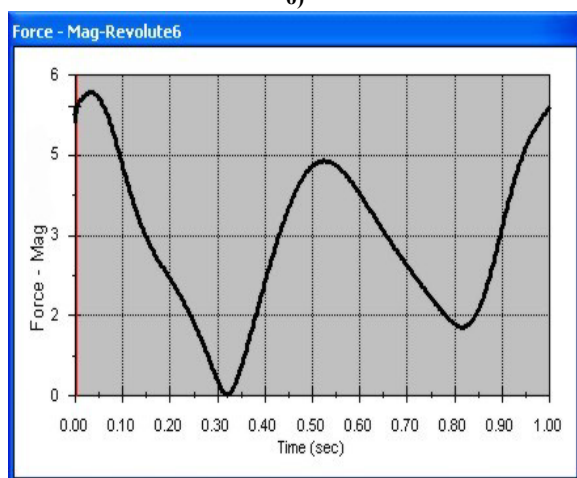
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.

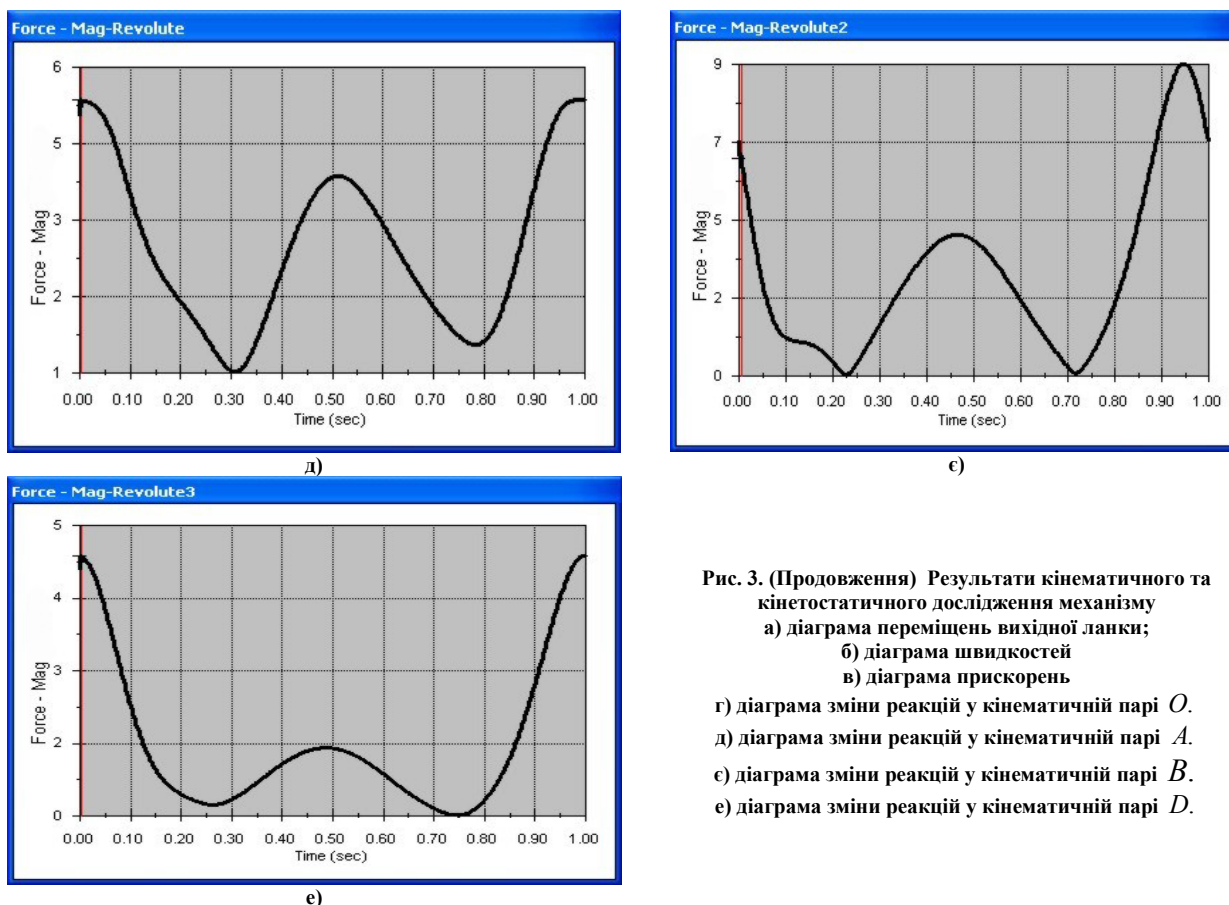


Рис. 3. (Продовження) Результати кінематичного та кінетостатичного дослідження механізму  
 а) діаграма переміщень вихідної ланки;  
 б) діаграма швидкостей  
 в) діаграма прискорень  
 г) діаграма зміни реакцій у кінематичній парі *O*.  
 д) діаграма зміни реакцій у кінематичній парі *A*.  
 е) діаграма зміни реакцій у кінематичній парі *B*.  
 е) діаграма зміни реакцій у кінематичній парі *D*.

Таким чином, внаслідок проведених досліджень розроблено комп'ютерну модель шестиланкового важільного механізму, побудованого на основі двокривошипного шарнірного чотириланкового механізму, який забезпечує зупинку вихідної ланки. Показано працездатність спроектованого механізму, проведено розрахунок основних кінематичних та кінетостатичних характеристик.

### Література

1. Артоболевский И.И., Левитский Н.И., Черкудинов С.А. Синтез плоских механизмов. – М.: Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. Бейер Р. Кинематический синтез механизмов. Основы теории метрического синтеза механизмов – Машгиз, 1959 – 318 с.
3. Геронимус Я.Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов – ГИФМЛ, 1962 – 399 с.
4. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена. – К.: Вища школа, 1990. – 231 с.
5. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов. – М.: Наука, 1964. – 228 с.
6. Харжевський В.О. Синтез механізмів із зупинкою вихідної ланки на основі двокривошипного шарнірного чотириланкового механізму // Збірник наукових праць, № 28, част. 1 (спец. випуск), Хмельницький: Вид-во Нац. академії держ. прикорд. служби України. – 2004. – С. 123-125.
7. Харжевський В.О. Кіницький Я.Т. Аналітично-числовий синтез кругових напрямних механізмів на базі шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Бурместера. // Машинознавство, Львів: Вид-во КІНПАТРИ. – 2005. – С. 61-65.
8. Харжевський В.О., Кіницький Я.Т. Чисельно-аналітичний метод синтезу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі несиметричного шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Болла // Вісник Технол. у-ту Поділля. – 2003. – № 4. – С. 43-54.
9. Funk W., Gassmann V. Unsymmetric Tchebysheff-type straight-line mechanisms // Proceedings of Tenth World Congress on the Theory of Mechanisms and Machines, vol. 1, Oulu, Finland, 1999, pp. 222-226

Надійшла 15.10.2006 р.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОГО КУПОЛА ОТ ДАВЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВНЕШНЕЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ

*В роботі представлено практичний метод розрахунку меридіональних і кільцевих напружень в тонкостінній оболонці півсферичного куполу з текстильного композитного матеріалу при граничному осьовому навантаженні. Істотні переваги композитних матеріалів перед традиційними, які використовуються в будівництві, підтверджені результатами експериментальних досліджень, що дозволяє рекомендувати їх до апробування на практиці створення безопірних півсферичних тонкостінних куполів над приміщеннями різного призначення.*

Известно, что композитные материалы получают путем объединения, как минимум, двух компонентов. Комбинация их свойств позволяет получить оригинальные материалы. Для строителей объемных сооружений привычным является использование металла, железобетона, камня и дерева. К конструкциям из композитных материалов до сих пор сохраняется недоверие к их прочностным качествам. В связи с этим, практический интерес представляет определение предельной нагрузки на купол из текстильного композита до момента его деформации и разрушения.

В данной статье представлены результаты исследований модели сферического купола из текстильного композита, образованного усиливающим каркасом из одного слоя хлопчатобумажной ткани оригинальной структуры и связующей химической субстанции на базе эпоксидной смолы.

Для армирующего каркаса намеренно были использованы структуры хлопчатобумажных тканей. Нити из хлопка имеют прочность к разрыву в 10-15 раз меньшую по сравнению с высокопрочными арамидными нитями. Поэтому экспериментальное исследование модели сферического купола при самом низком уровне прочности армирующего каркаса представляет практический интерес в качестве ориентира *минимальных* показателей прочности композитных текстильных куполов зданий.

На рис. 1 представлена схема приложения внешней осевой нагрузки  $P_{\ell}$  к вершине купола. Постепенное увеличение величины  $P_{\ell}$  производилось с помощью винта через динамометр на пластину давления.

Усредненные результаты испытаний образцов двух видов структуры хлопчатобумажных тканей пяти вариантов плотности расположения нитей в ткани приведены в табл. 1. Анализ данных табл. 1 позволил обнаружить существенное влияние на величину предельной нагрузки двух факторов: структуры ткани и плотности расположения нитей в усиливающем каркасе.

Таблица 1

**Предельная осевая внешняя нагрузка сферического купола при варьировании плотности  
расположения утка в тканом каркасе композитного материала**

Плотность ткани по утку (нитей/дм) $P_{wft}$	100	140	175	200	245	
Предельная нагрузка (Н) $P_{\ell}$	Blond	660	820	945	1140	1230
	La Neige	640	795	840	950	1100

Варьирование плотности ткани по утку  $P_{wft}$  в пределах 100 – 245 нитей/дм привело к существенному изменению предельной нагрузки в следующем диапазоне:

для ткани «Blond»  $P_{\ell} = 660 - 1190$  Ньютон, а для ткани «La neige»  $P_{\ell} = 640 - 1100$  Ньютон.

График зависимости предельной осевой внешней нагрузки сферического купола от плотности по утку тканей «Blond» и «La neige» приведен на рис. 2.

В результате обработки данных эксперимента получены математические зависимости величины предельной внешней нагрузки на композитный купол от плотности расположения уточных нитей в усиливающем тканом каркасе:

Для ткани «Blond»  $P_{\ell} = 3,7548P_{wft} + 293,97$ , Н

Для ткани «La neige»  $P_{\ell} = 3,0738P_{wft} + 336,31$ , Н.

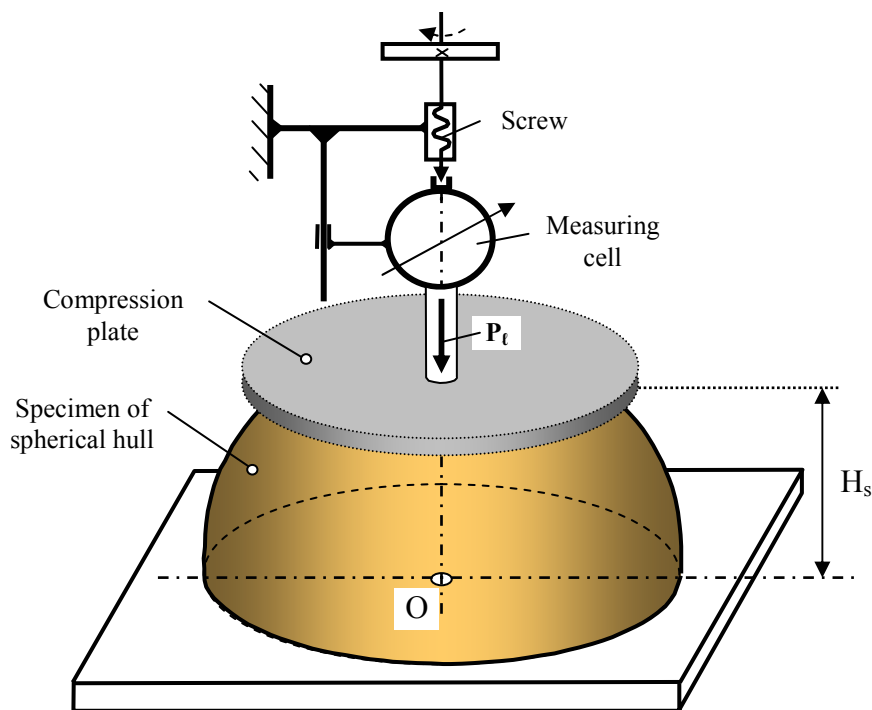


Рис. 1. Схема установки для тестирования прочности композитного купола

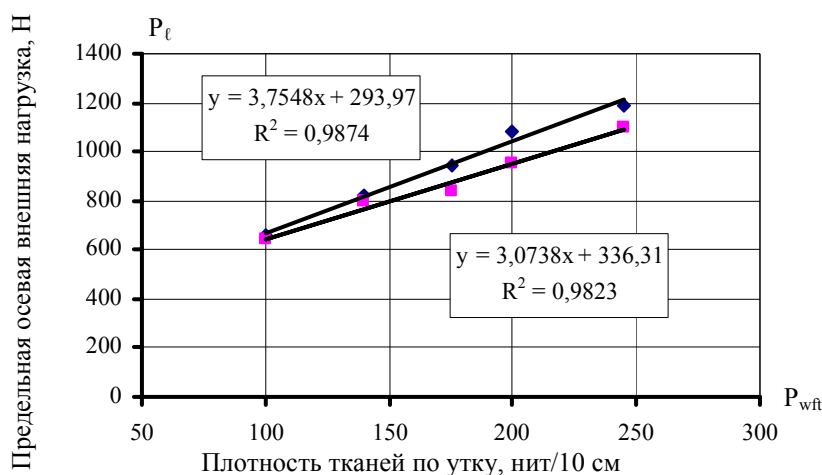


Рис. 2. Зависимость предельной осевой внешней нагрузки сферического купола от плотности по утку тканей «Blond» и «La neige»

Неожиданным оказался факт отсутствия прямого разрушения (разрыва) композитного материала: оболочка под большой нагрузкой лишь прогибалась, образуя кратер.

Подобный купол из стали, железобетона, камня, кирпича, дерева или из комбинации стального каркаса и стекла неизбежно подвергнется прямому разрушению и падению разрушенных элементов конструкции перекрытия здания. Разрушение таких куполов при наличии людей неизбежно приводит к жертвам, что и подтверждает мировая практика.

Полезный для практики вывод: использование купола из текстильного композитного материала исключает появление человеческих жертв даже в случае приложения очень большой нагрузки (мало вероятной), превышающей реальную нагрузку, например, от слежавшегося снега в  $460 \cdot 10^6$  раз!

Практический интерес представляет анализ величины соотношения «Прочность/Масса» для купола из текстильного композитного материала. Для наших образцов это соотношение оказалось равным: «Blond» =  $100 - 180,85$  Н/кг и «La neige» =  $96,9 - 166,6$  Н/кг. Кроме этого, для купола из композитного материала любопытны соотношения:

(а) «Прочность/Объем материала»: «Blond» в пределах от  $113,0 \cdot 10^6$  до  $203,76 \cdot 10^6$  Н/м<sup>3</sup> и «La neige» от  $109,6 \cdot 10^6$  до  $188,4 \cdot 10^6$  Н/м<sup>3</sup>.

(б) «Прочность/Удельный вес материала»: «Blond» от  $59,7 \cdot 10^{-3}$  до  $107,63 \cdot 10^{-3}$  Н/(Н/м<sup>3</sup>) и «La neige» от  $57,9 \cdot 10^{-3}$  до  $99,5 \cdot 10^{-3}$  Н/(Н/м<sup>3</sup>).

В целом величина прочности композитного купола сферической формы может превышать: (а) единицу массы – в  $70 - 160$  раз, (б) единицу объема – в  $80 \cdot 10^6 - 185 \cdot 10^6$  раз, а также быть меньше единицы удельного веса – в  $40 \cdot 10^{-3} - 98 \cdot 10^{-3}$  раз.

Для сравнения: удельный вес стали превышает удельный вес текстильного композита в  $19,9$  раз,

железобетона – 5,9 раз, стекла – в 6,25 раз. На практике ориентировочно для достижения прочности композитного купола потребуется изготовить купол из традиционных материалов тяжелее композитного в 6-20 раз. Здесь следует учесть важный фактор: конструкция из более тяжелого материала для сохранения прочностных характеристик должна компенсировать прирост веса путем увеличения массы (получается «заколдованный круг»).

В нашей работе разработан метод расчета напряжений в тонкостенных сферических оболочках при предельной осевой нагрузке на базе уравнения Лапласа [7].

На рис. 3 представлена идеализированная схема для расчета напряжений от действия веса частей (сегментов) стенки купола.

Обозначения:

$R$  – радиус внешней поверхности полусферы,

$r_{si}$  – радиус основания  $i$ -сегмента,

$H_s$  – высота полусферы купола,

$h_{si}$  – высота сегмента купола,

$t$  – толщина стенки купола,

$P_{ti}$  – сила тяжести  $i$ -того сегмента

$P_{ni}$  – нормальная составляющая  $P_{ti}$   $i$ -го сегмента

$\sigma_{mi}$  – напряжения меридиональные  $i$ -го сегмента

$\sigma_{ti}$  – напряжения кольцевые (окружные)  $i$ -го сегмента

Принимаем традиционное обозначение напряжений сжимающих со знаком «минус», а растягивающих – со знаком «плюс». Для расчета на схеме выделен произвольный сегмент купола ABC с полярной координатой  $\varphi_{si}$ , определяющей положение основания рассматриваемого сегмента полусферы относительно вертикальной оси.

Для определения характера и анализа распределения напряжений в сферической оболочке при приложении предельно возможной осевой нагрузки достаточно принять в расчетах один уровень из данных эксперимента:  $P_t = 1000$  Н. Величина предельной нагрузки  $P_t$  оказалась несравнимо больше силы тяжести материала стенки купола наших образцов ( $P_t = 0,064$  Н), потому величиной  $P_t$  можно пренебречь.

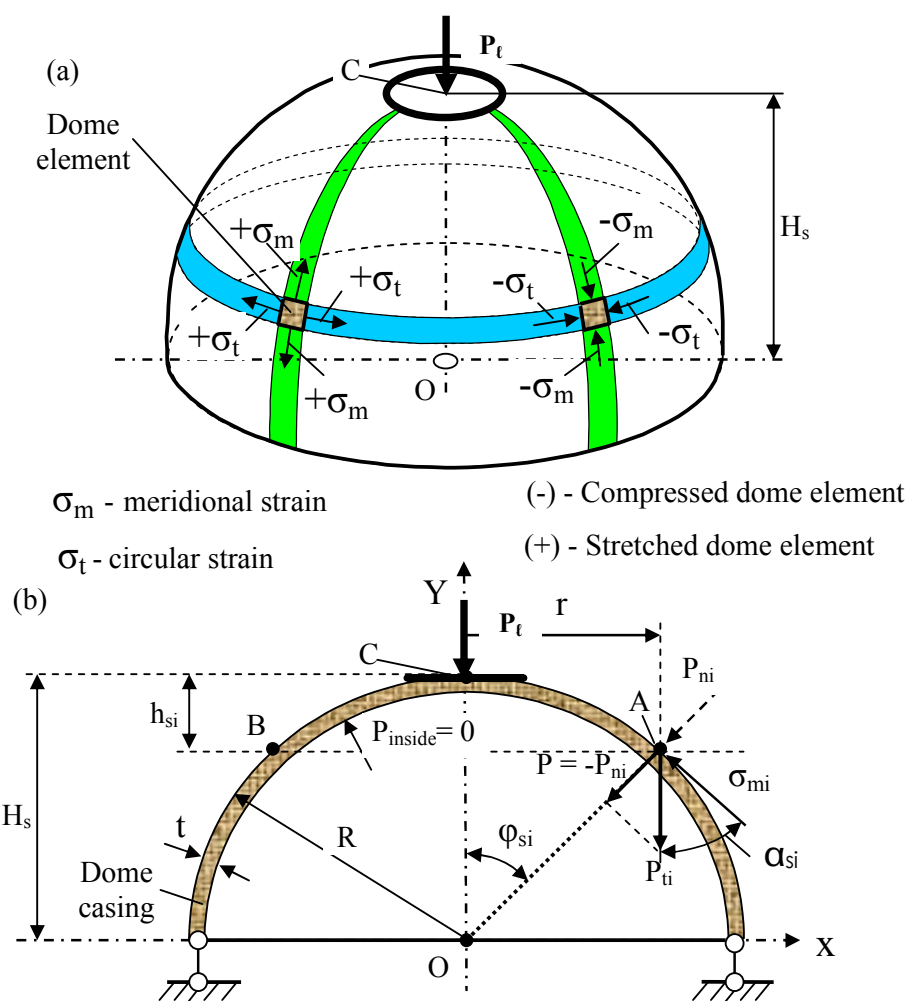


Рис. 3. Идеализированная схема сферического купола:  
 (а) Действие меридиональных и кольцевых напряжений в направлении сжатия и растяжения материала оболочки.  
 (б) Схема для расчета напряжений от давления предельной внешней осевой нагрузки

Формула Лапласа в общем виде для тонкой осисимметричной оболочки:

$$\sigma_m + \sigma_t = \frac{R \cdot P}{t}. \quad (1)$$

Уравнение равновесия сил в произвольной части оболочки, выражающее сумму проекций на ось ОС («уравнение зоны») в общем виде:

$$\sigma_m = \frac{P \cdot r_{si}}{2t \cdot \cos \alpha_{si}} + \frac{P^{out} + P_{ti}}{2\pi \cdot r_{si} \cdot t \cdot \cos \alpha_{si}}. \quad (2)$$

В качестве исходного для определения меридиональных напряжений воспользуемся уравнением равновесия зоны (2) путем учета конкретных обстоятельств:  $P = 0$ ,  $P_{ti} = 0$ ,  $r_{si} = R \cdot \sin \varphi_{si}$ ,  $\cos \alpha_{si} = \sin \varphi_{si}$ , знака минус (сжатие):

$$\sigma_{mi} = \frac{P \cdot r_{si}}{2t \cdot \cos \alpha_{si}} + \frac{P_\ell + P_{ti}}{2\pi \cdot r_{si} \cdot t \cdot \cos \alpha_{si}} = \left( 0 + \frac{P_\ell + 0}{2\pi \cdot R \cdot \sin \varphi_{si} \cdot t \cdot \sin \varphi_{si}} \right) = -\frac{P_\ell}{2\pi \cdot R \cdot t \cdot \sin^2 \varphi_{si}} \quad (3)$$

Кольцевые напряжения определяются уравнением

$$\sigma_{ti} = \frac{P_\ell}{t} \left( \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot \sin^2 \varphi_{si}} - R \cdot \cos \varphi_{si} \right) \quad (4)$$

После подстановки конкретных данных:  $P_\ell = 1000$  Н,  $R = 31 \cdot 10^{-3}$  м,  $t = 1 \cdot 10^{-3}$  м получаем простые уравнения:

$$\sigma_{ti} = \left( \frac{5,1366}{\sin^2 \varphi_{si}} - 31 \cdot 10^{-3} \cdot \cos \varphi_{si} \right) \cdot 10^6 \quad (5)$$

$$\sigma_{mi} = -\frac{5,1366}{\sin^2 \varphi_{si}} \cdot 10^6 \quad (6)$$

В табл. 2. представлены численные значения напряжений от осевой предельной нагрузки  $P_\ell = 1000$ Н через интервал варьирования  $\Delta \varphi_{si} = 10^0$ .

Таблица 2

**Меридиональные и кольцевые напряжения в стенке сферического композитного купола при действии предельной внешней осевой нагрузки  $P_i = 1000$  Н**

Полярная координата	$\varphi_{si}^{\circ}$	0	10	20	30	40	51°50'	60	70	80	90
Меридиональные напряжения (МПа)	$\sigma_{mi}$	-	-170,08	-43,9	-20,54	-12,43	-8,31	-6,85	-5,82	-5,3	-5,14
Кольцевые напряжения (МПа)	$\sigma_{ti}$	-	+170,05	+43,87	+20,27	+12,4	+8,29	+6,83	+5,81	+5,29	+5,14

На основе этих данных на рис. 4 представлены эпюры меридиональных и кольцевых напряжений.

Особенностью геометрической формы эпюр напряжений в стенке сферического купола при осевом давлении внешней предельной нагрузки следует признать локальное сосредоточение меридиональных и касательных напряжений в области вершины купола в пределах варьирования аргумента (полярного угла)  $\varphi_{si} = 0^0 - 30^0$ . Картина деформации композитных куполов в результате эксперимента в форме кратера достаточно точно подтверждают достоверность расчета этих эпюр.

### Выводы

1. На основе метода расчета тонкостенных оболочек на базе уравнений Лапласа и «равновесия зоны» разработан метод расчета напряжений в стенке полусферической оболочки купола для предельной осевой нагрузки.

2. Определено, что кольцевые напряжения имеют нулевое значение и меняют знак действия только при нагрузке от веса материала стенки купола. При дополнительной внешней нагрузке кольцевые напряжения приобретают только положительное значение, указывающее на потенциал растяжения материала купола. Меридиональные напряжения при любом виде нагрузке имеют только отрицательный знак, указывающий на потенциал сжатия материала купола.

3. Экспериментальные исследования сопротивления малого образца текстильного купола действию предельной внешней осевой нагрузки подтвердили возможность и целесообразность применения композитных

материалов при создании верхних перекрытий помещений различного назначения: полусферическая оболочка купола из текстильного композита на базе усиливающего каркаса из одного слоя хлопчатобумажной ткани и наполнителя из эпоксидной смолы выдерживает внешнюю осевую нагрузку с многократным запасом прочности к деформации без разрушения материала стенки купола.

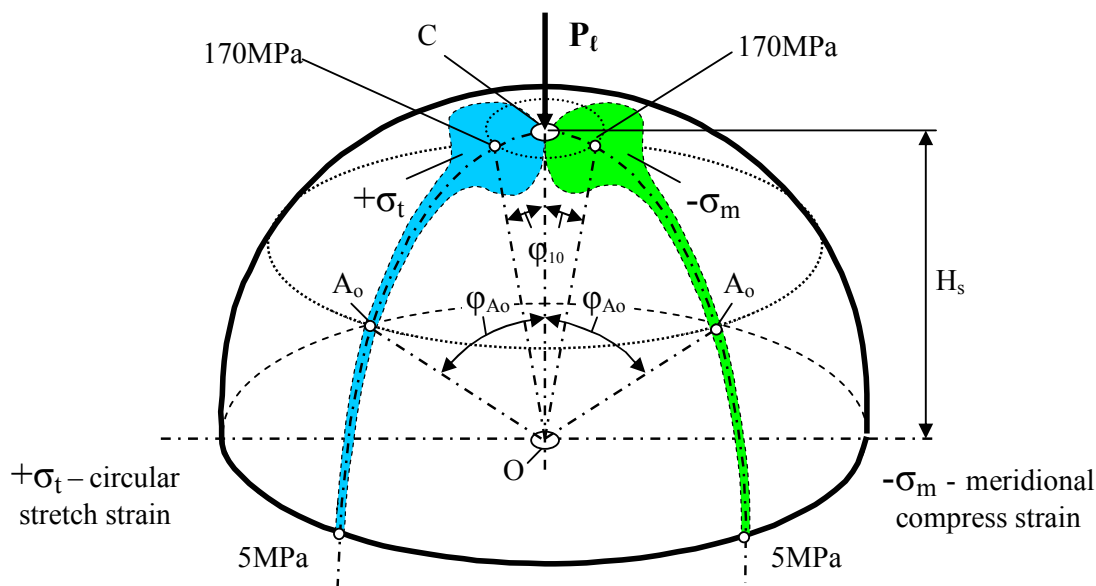


Рис. 3. Распределение меридиональных и кольцевых напряжений в стенке сферического купола от действия веса слежавшегося снега и частей стенки купола

#### Литература

1. Donald R. Askeland, The Science and Engineering of Materials, PWS publishing Company, Boston, 1994
2. Stephen W. Tsai and H. Thomas Hahn, Introduction to Composite Vaterials, Technomic Publishing Company, Westport, Connecticut, 1980
3. Kenneth G. Budinski and Michael K. Budinski, Engineering Materials, Properties and Selection, Prentice Hall, New Jersey, Columbus, Ohio, 1999
4. J.L. Meriam, Engineering Mechanics. Statics, John Wiley&Sons, New York \* Chichester \* Brisbane \* Toronto \* Singapore, 1980.
5. Tsu-Wei Chou and Frank K.Ko, Textile Structural Composites, ELSEVIER, Amsterdam-Oxford-New York- Tokio, 1989
6. Mario Bona, Textile Quality, Physical methods of product and process control, Comet Eurotex, TEXTILIA, 1994
7. Писаренко Г.С., Сопротивление материалов. – ГИИО К.: Вища школа, 1979.
8. Дарков А.В., Шпиро Г.С., Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1989
9. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. – М.: Наука, 1976
10. Васютинский Н.А. Золотая пропорция. – М.: Молодая гвардия. – 1990. – 238 с.
11. Фролов С.В., Шостак З.Я. Курс высшей математики. – М.: Высшая школа, 1966. – 662 с.

Надійшла 17.10.2006 р.



## АНАЛІЗ МЕТОДИК КОНСТРУЮВАННЯ ЧОЛОВІЧИХ СОРОЧОК ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЇХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

*В статті визначено основні причини неефективного використання можливостей сучасних САПР одягу внаслідок відсутності формалізації елементів конструкції та їх параметрів. Проведено аналіз існуючих методик конструювання чоловічих сорочок. Визначено закономірності зміни основних конструктивних параметрів чоловічої сорочки, побудованої за досліджуваними методиками конструювання, відносно середньозважених. Обґрунтовано необхідність удосконалення методичної бази процесу конструювання досліджуваного асортименту чоловічого одягу.*

### Постановка проблеми

В сучасних ринкових умовах найважливішим завданням у галузі індустрії чоловічого одягу являється удосконалення першого і основного етапу процесу його проектування – розробки зовнішнього виду моделі та плоских конструкцій (шаблонів) її деталей, які є передумовою виготовлення майбутнього виробу високої якості. При цьому етап повинен бути автоматизованим, як того вимагають умови конкуренції на світовому ринку [1].

Історично склалось, що класична чоловіча сорочка за фасоном і конструкцією є досить одноманітною. Кількість силуетних форм обмежена (пряма, напівприлегла), а наявність типових конструктивних рішень і повільна зміна модельних особливостей пояснюють той факт, що дослідження у напрямку виявлення і аналізу закономірностей побудови конструкції в різних методиках практично не ведуться. Проте, така інформація є дуже важливою для наукового обґрунтування варіаційних змін основних конструктивних ділянок з метою подальшої формалізації уніфікації елементів конструкції та їх параметрів. Це дозволить створити передумови для формування каталогів конструктивно-технологічних уніфікованих елементів даного виду одягу що, в свою чергу, надасть змогу підприємствам швейної галузі ефективно використовувати можливості сучасних САПР.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх джерел показав, що на сьогоднішній день велике значення приділяється автоматизації процесу проектування чоловічого одягу промислового виробництва. Це дозволяє значно скоротити затрати часу на конструкторську проробку моделей виробів та їх виготовлення, що надзвичайно важливо в умовах жорсткої конкуренції. Проте, як зазначається в роботі [2], можливості комп'ютерної техніки використовуються далеко неповністю, оскільки спостерігається відставання методичного та інформаційного забезпечення процесу конструювання одягу.

Враховуючи такі обставини, актуальним є питання дослідження процесу побудови базових конструкцій чоловічої сорочки за різними методиками. З цією метою вважається за необхідне проаналізувати вихідну інформацію, особливості побудови конструкції даного виду одягу за досліджуваними методиками та виявити закономірності зміни основних параметрів конструкції.

### Виклад основного матеріалу

В нашій країні процес конструювання одягу промислового виробництва передбачає використання багатьох методик. Як правило, вони не мають достатнього теоретичного обґрунтування, оскільки засновані на на власному досвіді конструктора, його інтуїції [2]. Тому сучасні наукові дослідження повинні проводитись в напрямку виявлення переваг та недоліків основних методик конструювання з метою отримання раціональної конструкції одягу промислового виробництва.

Найбільш поширеними у сучасному двовимірному процесі проектування одягу є розрахунково-графічні методи (методики конструювання та системи крою). Вони забезпечують простоту побудови конструкції, але не достатню ефективність отриманих результатів.

З основних етапів побудови конструкції чоловічої сорочки за розрахунково-графічними методами найбільший інтерес представляє визначення системи розмірних ознак та прибавок (з урахуванням типу фігури, виду одягу та властивостей матеріалів), аналіз розрахункових формул, що пропонуються для знаходження основних конструктивних параметрів.

В якості вихідної інформації про поверхню фігури в сучасних методиках конструювання чоловічої сорочки використовують різну кількість розмірних ознак. Максимальна їх кількість – 33, використовується в методиці [6], мінімальна – 13 розмірних ознак – в методиці [4]. В методиці [7] використовується 16 розмірних ознак для побудови конструкції даного виду одягу.

В умовах масового виробництва чоловічі сорочки виготовляють на фігури стандартних розмірів, які характеризуються визначеними пропорціями тіла, нормальною поставою та значенням провідних розмірних ознак (Т1, Т16, Т18). Вони визначаються відповідними стандартами, в яких закладено інформацію про особливості тілобудови індивідуальних чоловічих фігур.

Для визначення параметрів базової конструкції чоловічої сорочки, окрім розмірних ознак,

використовують також прибавки. Значення прибавок та їх розподіл по ділянках: спинка, пройма, пілочка в досліджуваних методиках конструювання представлено в табл. 1.

Таблиця 1

**Значення прибавок та їх розподіл по ділянкам конструкції пілочки і спинки чоловічої сорочки в різних методиках**

Найменування прибавки	Умовне позначення	Величина прибавок в методиках конструювання			
		ЄМКО РЕВ см	ЦНДІШП см	І.А. Аменуель см	М. Мюллер см
Загальна прибавка до лінії обхвату грудей	П г	9,3	8,5	11	7,5
Прибавка до ширини спинки по лінії грудей	П ш.с.г	2,55	2,55	7	2
Прибавка до пройми	П ш.пр	4,15	3,4	2	4,5
Прибавка до ширини пілочки по лінії грудей	П шп.г	2,6	2,55	2	1
Прибавка до висоти пройми ззаду	П в.пр.з	2,35	П спр=4,5	4,8	П до глибини пройми=3
Прибавка до довжини спинки до лінії талії	П дтс	2,35	-	-	2
Прибавка до довжини виробу	П д.в	2,35	П на упрцювання=0,8	-	-
Прибавка до ширини горловини спинки	П ш.г.сп	1,2	1,5	0,5	1
Прибавка до висоти горловини спинки	П в.г.сп	-0,55	0,9	-	2
Прибавка до обхвату стегон з урахуванням виступу живота	П ст	11,5	5,5	11,9	8

Як видно з таблиці, значення прибавок у досліджуваних методиках конструювання чоловічої сорочки значно відрізняються. Так, значення прибавки до лінії обхвату грудей, її розподіл по ширині спинки, пройми та пілочки, значення конструктивної прибавки до висоти пройми ззаду та обхвату стегон з урахуванням виступу живота мають найбільший діапазон варіювання. В деяких методиках значення припусків певних параметрів конструкції взагалі відсутні: П дтс враховується лише в методиці [6], П д.в. – у методиках [6, 7], а П в.г.сп не враховано лише у методиці [5]. Але в жодній з методик належним чином не обґрунтовано необхідність використання саме такого значення прибавок та їх розподілу за тією чи іншою ділянкою в конструкції чоловічої сорочки.

В досліджуваних методиках використовується техніка побудови конструкції чоловічої сорочки, принцип визначення та взаємного розташування в ній конструктивних точок, забезпечення балансних характеристик тощо. Але при цьому відсутня методологія, яка б пояснювала основні етапи отримання конструктивних відрізків. Це підтверджує результат аналізу методик, за якими були побудовані базові конструкції чоловічої сорочки для типової чоловічої фігури 176 – 100 – 88. Для систематизації і подальшого дослідження інформації про конструктивний устрій чоловічої сорочки, побудованої за досліджуваними методиками, був проведений попередній розрахунок значень горизонтальних та вертикальних параметрів (рис. 1) пілочки і спинки даного виду одягу. В табл. 2 наведено приклад розрахунку вертикальних конструктивних параметрів деталей пілочки і спинки у досліджуваних методиках конструювання чоловічої сорочки. Як видно з таблиці, досліджувані методики конструювання пропонують для розрахунку параметрів конструкції не лише різну систему прибавок, але й формули різних видів.

Аналіз видів формул, які використовуються для розрахунку основних конструктивних ділянок в досліджуваних методиках конструювання показав, що формули 1 виду переважають у методиках [5, 7] – 38,1 %; формули 2 виду – в методиці [4] – 68,2 %; формули 3 виду – в методиках [6] – 40,5 %, [5, 7] – 50,0 % [8].

Відомо, що найбільшу точністю мають формули 1 виду, оскільки для знаходження значення параметра конструкції в них використовується величина розмірної ознаки та загальна величина прибавки. Застосування формул 2 і 3 виду значно знижує точність розрахунку конструктивних параметрів, оскільки точність значення необхідної ділянки конструкції визначається також залежністю між розмірами деталі і фігури, або значення параметра визначається з використанням раніше розрахованих параметрів. Як видно з табл. 1, враховуючи вищесказане, найбільш точними можна вважати методики [5, 7]. Проте слід зазначити, що методика [5] ґрунтується на основних положеннях методики [7], але недостатньо обґрунтовано спрощує процес побудови конструкції чоловічої сорочки і тому не забезпечує необхідної точності отриманих конструктивних параметрів. Точність методики [7] також викликає сумніви, оскільки для розрахунку значень параметрів конструкції чоловічої сорочки використовують переважно формули третього виду.

Суміщення отриманих конструкцій чоловічої сорочки відносно пройми та лінії обхвату грудей пілочки і спинки (рис. 2) показало, що загальні габарити, місця розташування основних конструктивних точок та величини конструктивних відрізків мають значні розбіжності. З огляду на це вважається за потрібне дослідити значення інтервалу байдужості.

Інтервал байдужості – це певний проміжок, всередині якого різниця між розмірами ділянок у виробі даного виду, отриманого за різними методиками конструювання, не має суттєвого значення для споживачів [3]. Для чоловічої сорочки застосовують інтервал байдужості, обмежений з двох сторін. Це говорить про те, що споживачам, фігури яких є наближеними до досліджуваної типової, підійдуть чоловічі сорочки відповідного розміру з невеликим невідчутним відхиленням в ту чи іншу сторону. В швейній промисловості для чоловічих сорочок міжрозмірний інтервал по обхвату грудей і талії у різних методиках конструювання дорівнює  $\pm 2$  см., міжростова різниця по довжині виробу встановлюється різною залежно від виду виробу та співвідношення його довжини з загальною довжиною тіла (зростом), а інтервал байдужості по зросту розширено до 10 см [3].

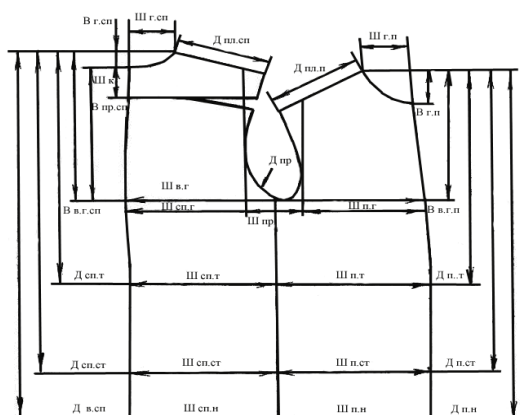


Рис. 1. Схема вимірів горизонтальних та вертикальних розмірів у конструкціях пілочки і спинки чоловічої сорочки

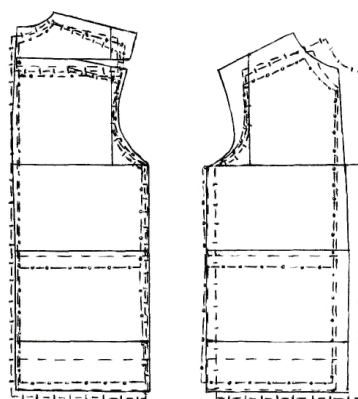


Рис. 2. Суміщення базових конструкцій чоловічої сорочки, побудованої за досліджуваними методиками конструювання

На основі аналізу даних табл. 3, отриманих за різними методиками побудови конструкцій чоловічих сорочок встановлено, що на верхній опорній ділянці тіла інтервал байдужості перевищує допустиме значення, на основі чого можна висунути припущення, що вони мають різну динамічну відповідність. Тому вважається за необхідне визначити середньозважені значення параметрів конструкції і порівняти їх з розрахованими за досліджуваними методиками.

Необхідною умовою існування умовно-рівноваженої системи «людина – одяг» (в статичі) являється максимальна відповідність розмірів та форми ділянок статичного контакту одягу розмірам і формі опорної поверхні фігур типової тілобудови. Чоловіча сорочка найбільш щільно прилягає до плечового поясу, покриває тулуб, руки і частково шию. На ділянках, розташованих нижче опорної поверхні, між внутрішньою поверхнею чоловічої сорочки та тілом людини, має бути забезпечений певний повітряний простір для свободи руху та з метою надати одягу відповідну форму.

Чоловіча сорочка являється повсякденним видом одягу і у відповідності до сучасного напрямку моди її проєктують найчастіше прямого силуету, рідше – напівприлеглою. Тому значення параметрів пілочки і спинки на ділянці ширини виробу по лінії талії, стегон і низу коливається у межах 0,48 – 2,25 см, ширини виробу по лінії грудей у межах 1,35 – 1,85 см у порівнянні з середньозваженими значеннями (табл. 3). Таку величину варіювання можна вважати допустимою, оскільки в даному випадку її вибір залежить від проєктованого силуету досліджуваного виду одягу.

Слід відмітити, що значення розрахованих конструктивних параметрів висоти пройми спинки, висоти горловини спинки і пілочки, ширини горловини спинки і пілочки, ширини і довжини пройми у методиках конструювання чоловічої сорочки [4, 5, 7] мають найменші відхилення від середньозважених, у межах 0,03 – 1,53 см. Але разом з тим слід зауважити, що у методиці [5] при побудові конструкції досліджуваного виду виробу не вказано положення лінії талії і стегон, а у методиці [4] – лінії стегон, тому неможливо визначити значення довжини спинки і пілочки до лінії талії і стегон.

У методиках [6, 7] враховано всі конструктивні ділянки виробу, однак у порівнянні з методикою [7], значення конструктивних параметрів, розрахованих за методикою [6], мають досить високий діапазон варіювання: по всім конструктивним ділянкам, окрім висоти горловини пілочки, вони перевищують середньозважені у межах 0,9 – 3,64 см. За методикою [7] значення досліджуваних конструктивних ділянок мають найменші відхилення від середньозважених – в межах 1 см.

Таблиця 2  
**Розрахунки значень вертикальних конструктивних параметрів пілочки і спинки у досліджуваних методиках конструювання чоловічої сорочки**

Познач. констр. ділянки	Методика конструювання													
	ЄМКО РЕВ				ЦНШП				І.А. Аменуель				М. Мюллер	
	відрізок	ф-ла для розрахунку	велич. відрізка	відрізок	ф-ла для розрахунку	велич. відрізка	відрізок	ф-ла для розрахунку	велич. відрізка	відрізок	ф-ла для розрахунку	велич. відрізка	відрізок	ф-ла для розрахунку
В г.сп	12 - 121'	0,08Т13+П+2	4,75	А1А2	0,5Сш+ПКв.г	4	А1А2	-	1/3ПОГ+П	4	W1W2	-	1/100гр+П	4
В пр.сп	111 - 13'	Т39+П+вел.поглибл.	30	АГ	Впр.3+ПКспр	26	АГ	-	1/3ПОГ+П	26,3	WГ	-	1/100гр+П	25,4
В в.г.сп	11' - 31'	Т39+П+вел.погл.+ /12-121'	34,75	АГ	Впр.3+ПКспр+А1-А2/	30	АГ	1/3ПОГ+П+А1А2/	30,3	WГ	1/100гр+П+W1W2/	-	1/100гр+П+W1W2/	29,4
Д сп.т	11' - 41	Т40+П	53,2	АГ	Дгс+А1А2/	49,5	-	-	-	WД	1/4 P+П+W1W2/	-	-	51
Д сп.ст	11' - 51	Т40+П+0,65*(Т7-Т12)+П	72,4	АБ	/АГ+Дгс/2	72,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Д в.сп	11' - 91	Т40+(Т7-Т12)+П	82,8	АН	Двир+Пгу+А1А2/	79,8	АД	-	-	82	WД1	1/2 P-12+W1W2/	-	82
В г.п	16 - 161	-	7,2	аа3	аа1+1	7,5	А3А5	1/3ПОШ+П	7,8	а1а2	1/6Ош	-	-	6,8
В в.г.п	16' - 37'	-	28,7	аГ	-	23,6	А3Г5	АГ	26,3	аГ5	-	-	-	22,5
Д п.т	16' - 47	-	47,3	аГ	-	43,2	-	-	-	-	-	-	-	44,3
Д п.ст	16' - 57	-	66,6	аБ	-	65,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Д в.п	16' - 97	-	76,9	аН	-	73,4	А3Д4	-	-	78	аН	-	-	71,2

Проведене дослідження дозволило визначити діапазон зміни основних параметрів конструкції відносно їх середніх значень та встановити точність вимірів у досліджуваних методиках за рахунок обчислення коефіцієнта варіації (Кв).

Аналіз даних, представлених в таблиці 3, показав, що найбільші відхилення від середньозважених значень мають вертикальні параметри конструкції чоловічої сорочки. За розрахованим коефіцієнтом варіації дійшли висновку, що найбільше від середньозважених відрізняються значення висоти пройми спинки, відстані до лінії грудей на спинці і пілочці, кутів нахилу плеча спинки і пілочки, ширини кокетки спинки та величини розхилу виточки кокетки спинки (рис. 3).

Значення цих параметрів у конструкції чоловічої сорочки залежить від положення корпусу та висоти плечей споживача. Відповідно будуть змінюватись ширина і висота горловини спинки, ширина і глибина горловини пілочки, розхил виточки кокетки спинки, кути нахилу плеча спинки і пілочки та передньозадній баланс виробу.

Проведене дослідження є основою для проведення подальших робіт у напрямку визначення оптимальних значень конструктивних ділянок для побудови раціональної конструкції чоловічої сорочки.

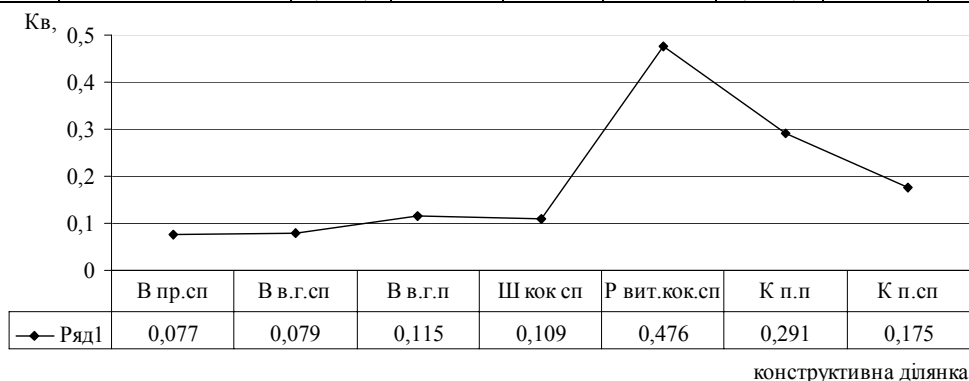
#### Висновки

Отже, проведене дослідження дає змогу виявити недоліки існуючих розрахунково-графічних методів, які пов'язані з використанням формул різної точності та різною системою конструктивних прибавок.

В результаті проведеної роботи були виявлені закономірності конструктивного формування чоловічої сорочки у різних методиках її конструювання та розраховані середньозважені значення конструктивних ділянок для побудови більш раціональної конструкції чоловічої сорочки, що створює умови для удосконалення існуючої методології їх проектування на основі систематизації інформаційної бази, подальшої розробки нетрадиційних макрокоманд та модулів для інтенсифікації автоматизованого проектування.

**Діапазон величин відхилення конструктивних ділянок  
від середньозважених у досліджуваних методиках конструювання чоловічої сорочки**

№	Позначення конструкт. ділянки	Середнє знач. велич. конструкт. ділянки	Величина відхилення							
			ЄМКО РЕВ		ЦНІШП		І.А. Аменуель		М. Мюллер	
			см	%	см	%	см	%	см	%
1	Впр.сп	26,93	-3,07	11,4	0,93	3,45	0,63	2,34	1,53	5,68
2	Вв.г.сп	31,11	-3,64	11,7	1,11	3,57	0,81	2,6	1,71	5,5
3	Дсп.т	51,23	-1,97	3,85	1,73	3,38	-	-	0,23	0,45
4	Дсп.ст	72,3	-0,1	0,14	0,1	0,14	-	-	-	-
5	Дсп.в	81,65	-1,15	1,41	1,85	2,27	-0,35	0,43	-0,35	0,43
6	Шг.сп	8,23	-0,37	4,5	0,03	0,36	0,93	11,3	-0,57	6,93
7	Вг.сп	4,19	-0,56	13,37	0,19	4,53	0,19	4,53	0,19	4,53
8	Дпл.сп	18,18	-1,82	10,01	1,78	9,79	-0,82	4,51	0,88	4,84
9	Шкок.сп	6,5	0	0	1,0	15,38	-0,5	7,69	-0,5	7,69
10	Шсп.гр	23,01	-0,19	0,83	0,01	0,04	-1,29	5,61	1,21	5,26
11	Шсп.т	30,15	-0,95	3,15	1,95	6,47	-1,55	5,14	1,15	3,81
12	Шсп.ст	30,35	-0,75	2,47	1,25	4,12	-1,35	4,45	0,85	2,8
13	Шсп.н	30,48	-0,62	2,03	1,38	4,53	-1,22	4	0,48	1,57
14	Вг.п	7,33	0,13	1,77	-0,17	2,32	-0,47	6,41	0,53	7,23
15	Шг.п	7,43	-2,17	29,21	0,93	12,52	0,63	8,48	0,63	8,48
16	Дпл.п	18,18	-1,82	10,01	1,78	9,79	-0,82	4,51	0,88	4,84
17	В в.г.п	26,28	-3,42	13,53	1,68	6,65	-1,02	4,03	2,78	11
18	Дп.т	44,93	-2,37	5,27	1,73	3,85	-	-	0,63	1,4
19	Дп.ст	67,15	-0,45	0,68	0,45	0,68	-	-	-	-
20	Д в.п	74,88	-2,02	2,7	1,48	1,98	-3,12	4,17	3,68	4,91
21	Ш п.г	22,13	-0,37	1,67	0,43	1,94	-1,37	6,19	1,33	6,01
22	Ш п.т	30,15	-2,25	7,46	1,95	6,47	-0,85	2,82	1,15	3,81
23	Ш п.ст	30,50	-1,9	6,23	1,4	4,59	-0,5	1,64	1,0	3,28
24	Ш п.н	30,63	-1,77	5,78	1,53	5,26	-0,37	1,21	0,63	2,06
25	Д пр	52,73	-1,27	2,41	-0,47	0,89	0,73	1,38	1,03	1,95
26	Ш пр	15,90	-0,9	5,66	1,0	6,29	0,9	5,66	-1,0	6,29
27	Ш в.г	61,15	-1,35	2,21	1,55	2,53	-1,85	3,03	1,65	2,70



**Рис. 3. Діапазон зміни параметрів конструкції чоловічої сорочки від середньозважених по розрахованому значенню коефіцієнта варіації**

### Література

1. Раздомахин Н.Н. Трехмерное автоматизированное проектирование одежды // Швейная промышленность, 1995. – № 5. – С. 12 – 13.
2. Васильківська О.І. Досвід фахівця – прихований резерв розвитку САПР одягу // Легка промисловість, 2004. – № 1. – С. 43.
3. Конструирование одежды с элементами САПР: Учебн. для вузов / Под ред. Е.Б. Кобляковой. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.
4. Построение чертежа конструкции мужской рубашки по методике М. Мюллера // Ателье. – 2002. – № 3. – С. 14-16.
5. Аменуель И.А. Изготовление мужских сорочек и женских блузок: Учебн. пособие для ПТУ. – М.: Высшая школа, 1978. – 192 с.
6. Рекомендации по моделированию и конструированию молодежной и детской одежды на сезон весна-лето'92. – Ч. 2. – М.: Кузнецкий мост, 1992, 67 с.
7. Практичний посібник з побудови базових конструкцій поясних та плечових виробів за методиками М. Мюллера, ЦРМА, ЦНДШП для студентів спеціальності 7.091801 «Швейні виробы» / А.Л. Славінська – Хмельницький: ТУП, 1999. – 85 с.
8. Куренова С.В., Савельева Н.Ю. Конструирование одежды: Учебное пособие / Серия «Учебники, учебные пособия». – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 480 с.

Надійшла 17.10.2006 р.

**СУЧАСНА АНТРОПОМЕТРИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХЛОПЧИКІВ  
СТАРШОЇ ШКІЛЬНОЇ ГРУПИ ГЕОГРАФІЧНОГО РЕГІОНУ ПОДІЛЛЯ**

У статті приведено результати антропометричного обстеження хлопчиків старшої шкільної групи, за якими визначено середньоарифметичне значення розмірних ознак та інтенсивність їх зміни по однорічних періодах розвитку. Визначена суттєва невідповідність антропометричної характеристики сучасних дітей діючим стандартам.

**Постановка проблеми**

Зростаючий матеріальний та культурний рівень розвитку суспільства і споживачів зорієнтував роботу підприємств масового виготовлення одягу на задоволення споживчих вимог населення. В сучасних умовах більше уваги стали приділяти проектуванню дитячого одягу, особливо це стосується його композиційно-конструктивного вирішення.

В той же час одяг проектується на типові фігури, які були встановлені більш ніж двадцять років тому, та зафіксовані в стандартах, що діють до теперішнього часу. Тому у даній роботі приділено увагу дослідженню змінності антропометричних ознак хлопчиків старшої шкільної вікової групи географічного регіону Поділля.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Проведені антропометричні дослідження сучасних хлопчиків підліткової вікової групи [1] підтвердили той факт, що їх фігури суттєво змінилися і не в повній мірі відповідають діючим стандартам.

**Виклад основного матеріалу**

Для антропометричного обстеження обрано метод однократного поперечного дослідження хлопчиків віком з 12,1 до 15,5 років у чотирьох однорічних періодах їх розвитку згідно вимог ГОСТ 17917 – 86 [2].

Встановлено, що розподіл значень ведучих розмірних ознак фігур у досліджуемій вибірці підлягає нормальному чи логнормальному розподілу. Кореляційний зв'язок між ведучими розмірними ознаками, що розташовані в різних площинах (Р, Ог III) незначний (0,41 – 0,56). Величини коефіцієнтів кореляції між ведучими розмірними ознаками наведено в таблиці 1.

Достовірність отриманих даних проведеного обстеження за допомогою вибіркового методу досліджень, підтверджена розрахунковими основними статистичними параметрами ведучих розмірних ознак (Р, Ог III, От) і тотальною ознакою маси тіла (М), які наведено у таблиці 2.

Таблиця 1

**Величини коефіцієнтів кореляції між ведучими розмірними ознаками  
і масою тіла хлопчиків старшої шкільної групи у однорічних періодах розвитку**

Однорічний період	Коефіцієнти кореляції					
	Р/Ог III	Р/От	Ог III/От	М/Р	М/Ог III	М/От
I (12,1-13,0 pp.)	0,49	0,41	0,84	0,64	0,63	0,61
II (13,1-14,0 pp.)	0,56	0,44	0,85	0,71	0,88	0,79
III (14,1-15,0 pp.)	0,45	0,39	0,88	0,58	0,67	0,63
IV (15,1-15,5 pp.)	0,50	0,50	0,91	0,68	0,74	0,75

Індивідуальні фігури, що визначені в ході обстеження, були приведені до типових з врахуванням інтервалу байдужості за зростом Р= ±3 см., обхватом грудей О= ±2 см., обхватом талії – От = ±1,5 см.

Найбільш вагому інформацію про фізичний розвиток хлопчиків старшої шкільної групи надає зміна характеру ведучих розмірних ознак по однорічним періодам розвитку. На рис.1 – рис. 3 наведено розподіл значень ведучих розмірних ознак хлопчиків досліджуваної вікової групи у однорічних періодах їх розвитку, а на рис. 4 – по віковій групі в цілому.

**Основні статистичні параметри ведучих розмірних ознак і тотальної ознаки маси тіла хлопчиків старшої шкільної групи по однорічним періодам розвитку**

Однорічний період	Розмірні ознаки	Середнє арифметичне значення, см	Стандартна помилка	Медіана, см	Мода, см	Стандартне відхилення	Дисперсія вибірки	Екセス	Асиметрія	Мінімум, см	Максимум, см	Сума	Рівень надійності (95%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I	P	153,24	0,91	155	158	6,47	41,81	0,25	-0,51	139	170	7662	1,84
	O <sub>г</sub> III	75,08	0,81	74	74	5,71	32,56	0,88	0,76	67	91	3754	1,62
	O <sub>т</sub>	71,68	0,87	71	73	6,15	37,85	0,80	0,68	59	88	3584	1,75
	M	42,29	1,28	40,5	40	9,03	82,10	1,46	1,32	31	67,5	2115	2,58
II	P	158,36	1,26	158	152	8,90	79,17	-0,4	0,33	142	180	7918	2,53
	O <sub>г</sub> III	78,22	1,06	76,5	72	7,52	56,62	-0,1	0,82	67	97	3911	2,13
	O <sub>т</sub>	74,18	1,06	73	71	7,47	55,82	1,13	1,07	63	98	3709	2,12
	M	47,13	1,68	43,3	42	11,8	141,1	0,40	1,05	32	77	2357	3,38
III	P	165,22	1,03	165	170	7,25	52,54	-0,5	-0,23	149	178	8261	2,06
	O <sub>г</sub> III	80,42	0,74	79,5	82	5,25	27,60	1,25	0,75	70	96	4021	1,49
	O <sub>т</sub>	72,92	0,93	72	71	6,55	42,89	2,03	0,98	61	96	3646	1,86
	M	56,2	1,04	56	48	7,33	53,79	1,34	0,58	40,5	80	2810	2,08
IV	P	169,74	1,04	171	172	7,36	54,20	0,41	0,008	150	187	8487	2,09
	O <sub>г</sub> III	80,96	0,97	79,5	78	6,86	47,10	5,96	1,90	71	110	4048	1,95
	O <sub>т</sub>	73,94	0,99	72	72	7,05	49,73	7,65	2,39	65	105	3697	2,00
	M	58,46	1,16	58	53	8,21	67,36	1,82	0,88	41	84	2923	2,33

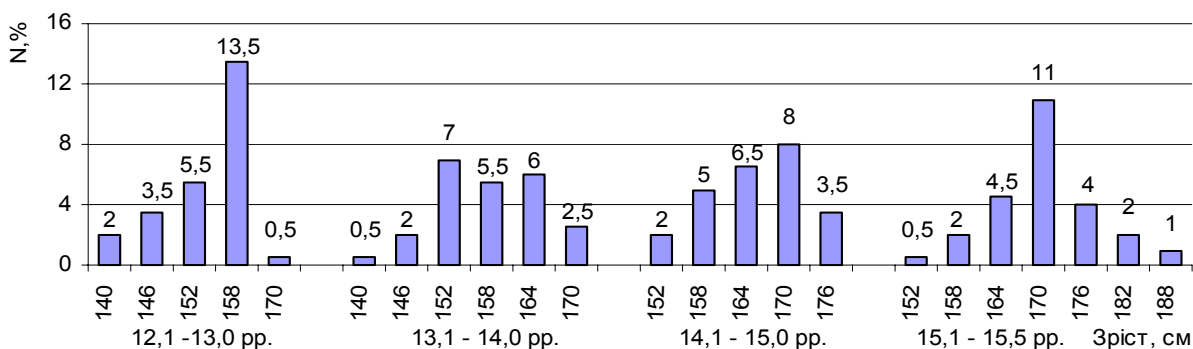


Рис. 1. Розподіл типових фігур по зростах в однорічних періодах розвитку хлопчиків старшої шкільної групи

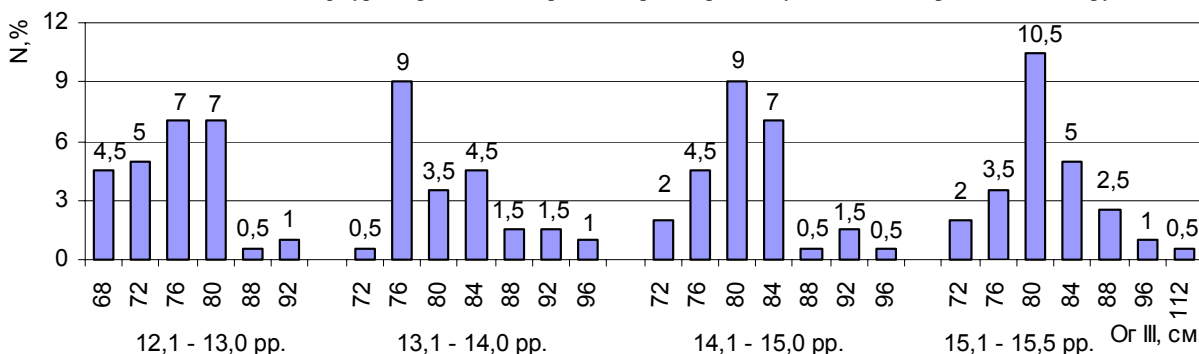


Рис. 2. Розподіл типових фігур по розмірах в однорічних періодах розвитку хлопчиків старшої шкільної групи

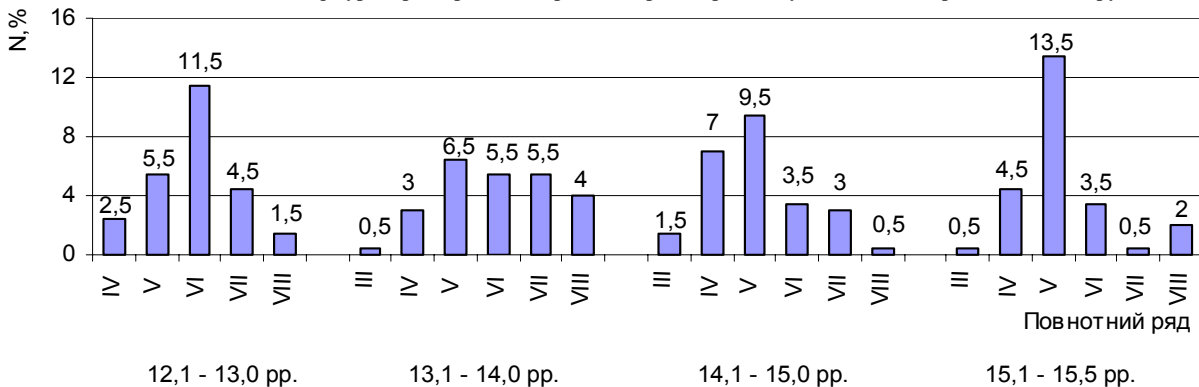


Рис. 3. Розподіл типових фігур за повнотними рядами в однорічних періодах розвитку хлопчиків старшої шкільної групи

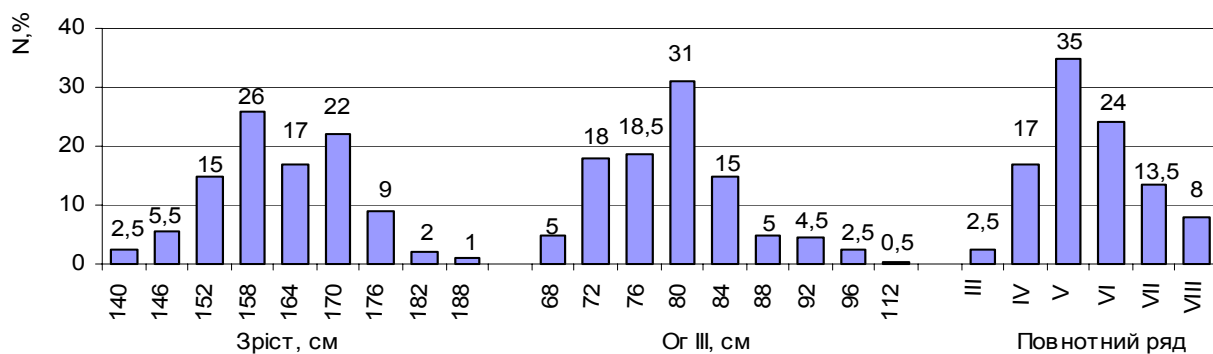


Рис. 4. Розподіл типових фігур хлопчиків по зростах, розмірах і повнотних рядах по всій старшій шкільній групі

Нормальний розподіл ведучих розмірних ознак у досліджуваній вибірці надає можливість визначити найбільш зустрічні варіанти типових фігур, що охоплюють 80-90 % вибірки. Вони в достатній мірі дозволяють задовольнити споживачів співрозмірним одягом. Варіанти визначених ведучих розмірних ознак хлопчиків старшої шкільної групи наведено в таблиці 3.

Аналізуючи характер зміни варіантів ведучих розмірних ознак по однорічних періодах їх розвитку можна відмітити наступне:

- по зростах (P) та розмірах (ОгIII) простежується поступове зростання їх значень з різною ступінню інтенсивності: підвищення зросту уповільнюється у четвертому періоді, але розмір майже не змінюється в III і IV періодах;
- величина повнотної характеристики у III і IV періодах зменшується.

Отримані результати спостереження характеру змін у фізичному розвитку хлопчиків старшої шкільної групи по однорічним періодам розвитку дозволяють стверджувати те, що вони активно розвиваються в повздовжньому (P) та поперечному (Ог III) напрямках з одночасним зменшенням повнотної ознаки (От). Для них характерні типові фігури п'ятьох варіантів зростів (152-176), чотирьох варіантів розмірів (72-84) та трьох варіантів повнотних рядів (IV-VI).

В роботі також було виконано порівняння найбільш поширених розмірних ознак типових фігур обстежуваної вибірки (див. табл. 3) зі шкалами відсоткового розподілу типових фігур хлопчиків старшої шкільної групи [3]. Встановлено, що для географічного регіону Поділля по всій старшій віковій групі значення всіх ведучих розмірних ознак змінилися, тобто підвищилися на два зросту, майже на один розмір та одну повнотну групу.

З метою встановлення відповідності розмірної характеристики сучасного дитячого населення діючим стандартам, у роботі виконано порівняльний аналіз популяції хлопчиків старшої шкільної групи за діючими стандартами та за результатами обстежень. В таблиці 4 наведено результати дослідження та інформацію по всіх однорічних періодах їх розвитку, а саме: межі коливань ведучих розмірних ознак (P, Ог III, От), загальну кількість варіантів типових фігур у досліджуваній вибірці та за ГОСТ 17917-86.

Таблиця 3

**Ведучі розмірні ознаки типових фігур хлопчиків старшої шкільної групи**

Назва розмірної ознаки	Варіанти ведучих розмірних ознак типових фігур, см.					
	По однорічним періодам розвитку				По всій віковій групі	
	I	II	III	IV	За обстеженням	За шкалою відсоткового розподілу
Зріст (P)	146				152	<b>152</b> 158 164 170 176
	152	<b>152</b>	158		<b>158</b>	
	<b>158</b>	158	164	164	<b>164</b>	
		164	<b>170</b>	<b>170</b>	<b>170</b>	
		176	176	176	176	
Розмір (Ог III)	68				72	68 72 <b>76</b> <b>80</b> 84
	72				76	
	<b>76</b>	<b>76</b>	76	76	<b>80</b>	
	<b>80</b>	80	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	
		84	84	84	84	
Повнотний Ряд (От)			IV	IV	IV	<b>III</b> V
	V	V	V	V	V	
	<b>VI</b>	<b>VI</b>	VI	VI	<b>VI</b>	
	<b>VII</b>	<b>VII</b>				

Примітка: жирним шрифтом виділені найбільш зустрічні варіанти ведучих розмірних ознак типових фігур.



Встановлено, що по старшій шкільній групі нижня границя значень по зросту зменшується у третьому і четвертому періодах, але верхня границя суттєво зменшена в перших періодах і підвищена у четвертому.

По обхвату грудей нижня границя має незначні зміни. Верхня – суттєво зменшена в другому та третьому однорічних періодах, і збільшена в четвертому.

По повнотній ознаці, як верхня так і нижня границі збільшені особливо у четвертому періоді.

Таблиця 4

**Порівняльна характеристика дитячого населення старшої шкільної групи  
за ГОСТ 17917-86 та за обстеженням**

Однорічний період	Інтервал значень ведучих розмірних ознак, см.						Кількість типових фігур, шт.		Кількість фігур, що співпали, шт.
	За ГОСТ 17917-86			За обстеженням			За ГОСТ 17917-86	За обстеженням	
	Р	Ог III	От	Р	Ог III	От			
I	140-182	64-96	54-87	140-170	68-92	60-87	42	33	10
II	140-182	64-108	57-99	140-176	68-96	63-99	36	40	3
III	158-182	72-108	57-99	152-176	72-96	60-96	34	36	7
IV	158-182	72-100	63-90	152-188	72-112	66-105	34	35	9

Результати порівняння типових фігур за діючими стандартами та за обстеженнями свідчать про наступне:

- у третьому та четвертому однорічних періодах кількість типових фігур у досліджуваній вибірці майже однакова (34-36 см.);

- у першому періоді за обстеженням зменшена (33 шт.), але в другому – збільшена (40 шт.).

Незначна кількість типових фігур у вибірці (29 шт.) співпала з діючим стандартом, що складає 27,4 %.

#### Висновок

Порівняльний аналіз антропометричної характеристики сучасних хлопчиків шкільної групи з діючими в швейній промисловості антропометричними стандартами визначив, що досліджуєма популяція має суттєві відмінності. Тобто фігури сучасних хлопчиків значно підвищилися у зрості та збільшилися по повнотній ознаці, але при менш значному збільшенні розміру.

Таким чином, для підвищення задоволеності досліджуємої групи дитячого населення одягом промислового виробництва, необхідно внести зміни у діючі стандарти.

#### Література

1. Н. В. Кудрявцева, О. М. Матвійчук. Сучасна антропометрична характеристика хлопчиків підліткової вікової групи географічного регіону Поділля // Вісник Хмельницького національного університету – 2006. – № 4. – С. 121-125.
2. ГОСТ 17917-86. Фигуры мальчиков типовые. Размерные признаки для проектирования одежды. – М.: Изд-во стандартов. – 1986.
3. Шкалы процентного распределения типовых фигур девочек и мальчиков по районам СССР. Москва – 1989. – 64с.

Надійшла 4.10.2006 р.

УДК 687.016.5:572

О.А. ДІТКОВСЬКА, Н.В. КУДРЯВЦЕВА, В.В. ЛУК'ЯНОВА  
Хмельницький національний університет

### **ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ ЗМІН ПІДЛЕГЛИХ РОЗМІРНИХ ОЗНАК СУЧАСНИХ ФІГУР ДІВЧАТОК МОЛОДШОЇ ШКІЛЬНОЇ ГРУПИ ЗА РЕГРЕСІЙНИМ АНАЛІЗОМ**

*У статті обґрунтовано застосування регресійного аналізу для визначення змін в антропометричній характеристиці сучасних дітей за підлеглими розмірними ознаками у порівнянні з даними діючих стандартів.*

#### Постановка проблеми

Інтенсивні соціальні перетворення, що пов'язані з процесом акселерації та зсувами у соціально-демографічній структурі населення України, ведуть до зміни характеру впливу різноманітних факторів на морфологічний вид людей, що складають ту чи іншу групу [1]. За допомогою попередніх досліджень, нами була встановлена невідповідність сучасної антропометричної характеристики дівчаток шкільного віку діючій віковій періодизації їх розвитку. Запропонований перерозподіл компонентів ведучих розмірних ознак при

виділенні типових фігур сучасних дітей є тому підтвердженням [2].

Враховуючи актуальність піднятої проблеми для швейної галузі легкої промисловості, метою досліджень є визначення характеру змін, що відбулися з часу розробки антропологічного стандарту, при виділенні типових фігур сучасного дитячого населення не тільки за ведучими розмірними ознаками, а і за підлеглими. Для визначення характеру змін необхідно запропонувати спосіб достовірної порівняльної оцінки з використанням сучасних аналітичних залежностей.

#### Мета і завдання дослідження

Мета дослідження полягає у встановленні ступеня відповідності в розподілі підлеглих розмірних ознак дівчаток молодшої шкільної групи діючої стандартизації [3, 4] у порівнянні з даними, отриманими в ході антропометричного обстеження 2005 р.

Завдання дослідження:

1. Дослідити теоретичні способи отримання значень підлеглих розмірних ознак у діючих антропометричних стандартах та визначити, який із досліджуваних способів розрахунку доцільно рекомендувати для визначення характеру зв'язку між підлеглими і ведучими розмірними ознаками.

2. Розробити аналітичний спосіб порівняльної оцінки підлеглих розмірних ознак на базі регресійних досліджень, який дозволить визначити характер змін антропометричної характеристики сучасних дітей у порівнянні з даними діючих стандартів.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Досліджено принципи і методи розрахунку антропометричних розмірно-зростових стандартів для дорослого населення та особливості побудови розмірної типології дитячого населення [5, 6, 7]. Для правильної побудови антропометричних стандартів необхідно знати не тільки ступінь, але й характер зв'язку між ведучими і підлеглими розмірними ознаками.

Відомо, що розмірно-зростові стандарти розраховуються на основі рівнянь множинної регресії. Регресійний аналіз полягає у визначенні аналітичного вираження зв'язку залежної випадкової величини  $y$  з незалежними випадковими величинами  $x_1, x_2, \dots, x_m$  (факторами). Параметри рівняння регресії визначаються за допомогою *методу найменших квадратів*, який використовується в Microsoft Excel [8, 9].

В якості ведучих розмірних ознак при побудові дитячої розмірної типології були вибрані довжина тіла і обхват грудей, а в результаті багаторічних досліджень – і обхват талії, що виступають в ролі факторів при розрахунку параметрів рівняння підлеглих ознак.

Форма регресійних рівнянь встановлюється на основі вивчення характеру залежності між ведучими і підлеглими ознаками. Найбільш проста регресія – парабола першого порядку, чи пряма лінія, – виводиться теоретично як вираження залежності між ознаками, розподілення частот яких підлягають нормальному закону. Рівняння прямої лінійної множинної регресії має вигляд:

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_3, \quad (1)$$

де  $y$  – теоретичне значення результативної ознаки, отриманої шляхом підстановки відповідних значень факторних ознак в рівнянні регресії;  $b, c, d$  – параметри рівняння (коефіцієнти регресії);  $x_1, x_2, x_3$  – значення факторних ознак, в даному випадку значення зросту (Р), обхвату грудей (ОгIII) і обхвату талії (От) відповідно;  $a$  – вільний член [6, 9].

Однак зовнішня відповідність варіаційного ряду нормальному закону окремо для кожної ознаки не значить, що залежність між ними найкращим чином виражається прямою лінією. У дітей, як і у дорослих, зв'язок обхватних ознак (обхвату грудей і обхвату талії) з підлеглими ознаками має криволінійну (параболічну) залежність. Тому, при розрахунку антропометричних стандартів для дитячого населення застосовують квадратичне рівняння, а саме, рівняння множинної регресії виду:

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_2^2 + ex_3 + fx_3^2 + gx_1x_2, \quad (2)$$

де  $y$  – шукана підлегла ознака;  $x_1, x_2, x_3$  – ведучі ознаки (відповідно Р, ОгIII, От);  $b, c, d, e, f, g$  – коефіцієнти множинної регресії;  $a$  – вільний член.

Розробка дитячих антропометричних матеріалів проводиться в кожному з однорічних інтервалах. У дітей, що мають однакові пропорції тіла, коефіцієнти регресії мають схожі значення, отже і напрям ліній регресії в таких інтервалах співпадають. Такі однорічні інтервали об'єднують в загальну вікову групу, на які розраховуються окремі антропометричні стандарти [7].

#### Виклад основного матеріалу

Оскільки, метою дослідження не є розрахунок антропометричного стандарту для індивідуальних фігур, а лише порівняльний аналіз впливу ведучих розмірних ознак на підлеглу ознаку, то виникло питання про недоцільність використання рівняння підвищеної складності (2), коли є можливість використати рівняння прямої лінії (1). Для того, щоб встановити однозначність характеру зв'язку між досліджуваними ознаками, не залежно від вибору їх математичного аналізу, в роботі проведено розрахунок підлеглих ознак за двома приведеними рівняннями. Для дослідження вибрано чотири підлеглих розмірні ознаки, вимірювання яких проводиться у різних просторових площинах, а характер розподілу значень цих ознак підлягає нормальному і логнормальному законам. Таким чином обрано:

Г 10 – висота точки основи шиї з заду (*Вов*);

Г 19 – обхват стегон з врахуванням виступу живота (*Осм*);

T 55 – поперечний діаметр талії ( $dm$ );

T 94 – передньо-задній діаметр обхвату грудей третього ( $n-3 dz$ ).

За допомогою персонального комп'ютера, використовуючи можливості табличного процесора Excel [7, 8], було розраховано за рівняннями (1) і (2) параметри для розрахунку підлеглих розмірних ознак індивідуальних фігур за результатами досліджень ( $u_d$ ) та відповідним їм типовим фігурам за діючими стандартами ( $u_T$ ). Слід відмітити, що коефіцієнти рівняння множинної регресії вказують степінь впливу кожного фактору на підлеглу ознаку, а тому для отримання чіткості аналізу матеріалу прийнято вільний член рівняння  $a$  відкинути ( $a = 0$ ).

Порівняльний аналіз отриманих параметрів рівнянь множинної регресії для розрахунку підлеглих ознак сучасних фігур за дослідженням і за діючими стандартами (для першого однорічного періоду: 6,6 – 7,5 рр.) приведено в таблиці 1 і таблиці 2.

Таблиця 1

**Параметри рівняння множинної регресії для розрахунку підлеглих ознак за лінійним рівнянням регресії**

Розмірна ознака	Фактори	За даними стандартів				За обстеженням			
		Коефіцієнти рівняння $u_T$	Стандартна похибка	t – статистика	Коефіцієнт еластичності $Ke$	Коефіцієнти рівняння $u_d$	Стандартна похибка	t – статистика	Коефіцієнт еластичності $Ke$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Вови</i>	<i>P</i>	0,87411	0,01218	<b>71,7438</b>	1,039	0,81161	0,0281	<b>28,8810</b>	0,971
	<i>OzIII</i>	-0,0234	0,04828	-0,4848	-0,014	0,16442	0,11559	1,42253	0,097
	<i>Om</i>	-0,0468	0,04183	-1,1177	-0,025	-0,1251	0,09994	-1,2519	-0,068
<i>Осм</i>	<i>P</i>	0,30886	0,03233	<b>9,55330</b>	0,526	0,05565	0,04539	1,22596	0,103
	<i>OzIII</i>	-0,0125	0,12811	-0,0973	-0,011	0,59809	0,1867	<b>3,20352</b>	0,544
	<i>Om</i>	0,63387	0,11101	<b>5,71011</b>	0,489	0,42609	0,16142	<b>2,63963</b>	0,354
<i>dm</i>	<i>P</i>	-0,0063	0,00457	-1,3692	-0,042	0,01708	0,01402	1,21830	0,122
	<i>OzIII</i>	0,12032	0,01811	<b>6,64582</b>	0,397	-0,1112	0,05767	-1,9285	-0,391
	<i>Om</i>	0,21613	0,01569	<b>13,7760</b>	0,652	0,39426	0,04986	<b>7,90766</b>	1,269
<i>n-3 dz</i>	<i>P</i>	0,04361	0,00298	<b>14,6572</b>	0,344	0,01035	0,01722	0,60067	0,090
	<i>OzIII</i>	0,11154	0,01179	<b>9,46095</b>	0,435	0,17155	0,07084	<b>2,42175</b>	0,733
	<i>Om</i>	0,06279	0,01022	<b>6,14667</b>	0,224	0,04642	0,06125	0,75786	0,181

Таблиця 2

**Параметри рівняння множинної регресії для розрахунку підлеглих ознак за квадратичним рівнянням регресії**

Розмірна ознака	Фактори	За даними стандартів			За обстеженням		
		Коефіцієнти	Стандартна похибка	t – статистика	Коефіцієнти	Стандартна похибка	t – статистика
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Вови</i>	<i>P</i>	0,86459	0,05367	<b>16,11016</b>	0,52131	0,35028	1,48826
	<i>OzIII</i>	-0,21431	0,23987	-0,89345	0,80177	1,27364	0,62951
	<i>OzIII<sup>2</sup></i>	0,00019	0,00258	0,07204	-0,01031	0,0137	-0,7521
	<i>Om</i>	-0,06346	0,20282	-0,31289	-0,3733	1,12559	-0,3316
	<i>Om<sup>2</sup></i>	0,00063	0,00175	0,35956	0,00253	0,00956	0,26519
	<i>P*OzIII</i>	0,00147	0,00086	1,71276	0,00549	0,00542	1,01231
<i>Осм</i>	<i>P</i>	0,47639	0,40327	1,1813	-0,1539	0,54324	-0,2832
	<i>OzIII</i>	-1,3596	1,80244	-0,7543	1,4678	1,97524	0,7431
	<i>OzIII<sup>2</sup></i>	0,01214	0,01938	0,62614	-0,012	0,02125	-0,5632
	<i>Om</i>	1,44661	1,52408	0,94917	-0,4518	1,74565	-0,2588
	<i>Om<sup>2</sup></i>	-0,0065	0,01313	-0,4966	0,0083	0,01482	0,55998
	<i>P*OzIII</i>	-0,0012	0,00646	-0,18	0,00538	0,00841	0,63931
<i>dm</i>	<i>P</i>	-0,00096	0,05339	-0,01797	-0,04627	0,16994	-0,27227
	<i>OzIII</i>	-0,58252	0,23861	<b>-2,44133</b>	-0,92332	0,61792	-1,49424
	<i>OzIII<sup>2</sup></i>	0,00568	0,00257	<b>2,21501</b>	0,00588	0,00665	0,88456
	<i>Om</i>	0,94127	0,20176	<b>4,66532</b>	1,48718	0,54609	<b>2,72332</b>
	<i>Om<sup>2</sup></i>	-0,00618	0,00174	<b>-3,55378</b>	-0,00946	0,00464	<b>-2,04102</b>
	<i>P*OzIII</i>	-01,8E-0,5	0,00086	-0,02058	0,00054	0,00263	0,20336

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>n-з dz</i>	<i>P</i>	-0,04266	0,03305	-1,2906	-0,08575	0,2236	-0,3835
	<i>OzIII</i>	0,39877	0,14774	<b>2,6992</b>	1,12591	0,8130	1,38489
	<i>OzIII<sup>2</sup></i>	-0,00353	0,00159	<b>-2,22284</b>	-0,00912	0,00875	-1,04299
	<i>Om</i>	-0,03383	0,12492	-0,27085	-0,8045	0,7185	-1,11969
	<i>Om<sup>2</sup></i>	0,00083	0,00108	0,76904	0,00732	0,0061	1,20019
	<i>P*OzIII</i>	0,00121	0,00053	<b>2,28446</b>	0,00163	0,00346	0,47103

Примітка: в таблиці 1, 2 курсивом виділені ті показники, що необхідно поступово виключати з рівняння; жирним шрифтом виділено більш значимі параметри рівняння, які впливають на результативну ознаку.

Після розрахунку рівняння регресії виникає питання про адекватність побудованого рівняння генеральним даним. Перевірка гіпотези зводиться до порівняння, отриманого в ході аналізу, розрахункового значення  $F$ -критерія Фішера ( $F_p$ ) з розробленими табличними значеннями ( $F^{кр}$ ). При рівні значимості  $\alpha = 0,05$ , числом степеня вільності  $f_1 = 3$ ,  $f_2 = 50$  для всіх підлеглих розмірних ознак виконується умова  $F_p > F^{кр}$ , тобто значення  $F_p$  попадають в критичний інтервал  $(2,802; +\infty)$  [8, табл. 9.4] і гіпотеза  $H_0: R^2 = 0$  про не значимість результатів відхиляється.  $R^2$  – розрахований множинний коефіцієнт детермінації; використовується для аналізу якості рівняння [9, 10].

Окрім перевірки адекватності розрахованих рівнянь регресії в роботі перевірено значимість кожного коефіцієнта регресії за допомогою  $t$ -критерія Стьюдента. В таблиці 1, 2 у колонках 5 і 8 приведені розрахункові значення  $t$ -критерія ( $t_p$ ). Порівнюючи розраховане значення  $t$ -критерія з табличними значеннями ( $t_{кр}$ ) при заданому  $\alpha = 0,05$  і відповідним числом степеня вільності рівним 50, при попаданні  $t_p$  в критичну область  $(-\infty, -t_{кр}) \cup (t_{кр}, +\infty)$ , коефіцієнти рівняння вважаються значимими. Для наших розрахунків  $t_{кр} = 2,01$  [7, 9].

Іншим розповсюдженим способом перевірки коефіцієнтів регресії є порівняння абсолютного значення коефіцієнта з його стандартною похибкою. Коефіцієнт слід виключити з рівняння регресії, коли його значення менше його стандартної похибки. В таблицях 1 і 2 такі коефіцієнти виділені курсивом. Вважаючи такі коефіцієнти статистично не значимими, необхідно перерахувати рівняння регресії з поступовим виключенням тих факторів, значення  $t$ -статистики яких, найменше.

Аналіз розрахунків параметрів квадратичного рівняння показує, що необхідно провести повторні розрахунки, виключаючи не значимі фактори, особливо це стосується показників *Вови* і *Ост*. Те саме відноситься і до параметрів лінійного рівняння, але в значно меншій мірі. Окрім цього, порівнюючи значення відповідних параметрів рівнянь у таблиці 1 і таблиці 2, ми спостерігаємо однакову закономірність: якщо за даними стандартів на розрахунок обхвату стегон (*Ост*) за лінійним рівнянням більше впливає зріст ( $t = 9,55330$ ) і обхват талії ( $t = 5,71011$ ), то вплив цих факторів зберігається при розрахунках квадратичного рівняння (для *P*:  $t = 1,1813$ , для *Oт*:  $t = 0,94917$ ).

Таким чином, можна зробити висновок, що факторний вплив ведучих розмірних ознак на розрахунок підлеглих ознак не змінюється від способу його визначення, а отже, в подальших наших дослідженнях, ми будемо використовувати рівняння лінійного виду, як таке, що дозволяє достовірно оцінити об'єкт дослідження і просте у виконанні.

Проведемо аналіз параметрів рівняння за даними стандартів та за обстеженням вибірки таблиці 1. Порівнюючи попарно виділені значення  $t$ -статистики ми бачимо, що відбулися суттєві зміни у впливі ведучих розмірних ознак на розрахунок, а отже, і на розвиток підлеглих розмірних ознак. Особливо чітко це відслідковується на прикладі обхвату стегон (*Ост*) і передньозаднього діаметру грудей (*n-з dz*), на які, за результатами обстеження, в більшій мірі впливає обхват грудей (*OгIII*), а не зріст, як передбачають стандарти. Отже, можна зробити висновок, що значення обхвату стегон та передньозаднього діаметру грудей у дівчаток віком 6,6 – 7,5 змінюються залежно від розміру, а не від їх зросту.

Вплив коефіцієнтів ведучих розмірних ознак на розрахунок повздовжньої ознаки *Вови*, істотно не змінився: найважливішим показником був і залишається зріст, але це і не дивно, бо зміни висот точок над полом відбуваються пропорційно зміні зросту дитини.

Для розширеного аналізу можна також розрахувати і коефіцієнт еластичності, що показує на скільки відсотків в середньому змінюється результативний показник із зміною факторної ознаки  $x_j$  на 1 %:

$$K_e = a_j \frac{x_{cpj}}{y_{cp}}, \quad (3)$$

де  $a_j$  – коефіцієнт у рівнянні залежності для  $j$ -го фактора;  $x_{cpj}$  – середньоарифметичне значення  $j$ -го фактора;  $y_{cp}$  – середньоарифметичне значення результативного показника.

В табл. 1 приведено розрахункові значення коефіцієнта еластичності. Порівнявши коефіцієнти еластичності, що отримані за стандартами та за обстеженням, ми бачимо, що вони відображають ті самі зміни, які відбулися у перерозподілі впливу факторних ознак на розрахунок коефіцієнтів рівняння.

Розглянемо, наприклад, коефіцієнти еластичності, розраховані для поперечного діаметру талії ( $d m$ ). Значення коефіцієнта еластичності за результатами обстеження показують, що при збільшенні зросту та

обхвату талії дитини на 1 % значення  $dm$  зросте відповідно на 0,122 % і 1,269 %. Залежність між приростами обхвату грудей третього і поперечним діаметром талії обернено пропорційна, на що вказує від'ємний знак коефіцієнту при  $OgIII$ . Отже, при збільшенні обхвату грудей третього на 1 % поперечний діаметр талії зменшиться на 0,391 %. Це свідчить про те, що діти вступили у фазу оформлення тіла дівчинки, коли відбувається розвиток грудних залоз та виділення лінії талії торсу.

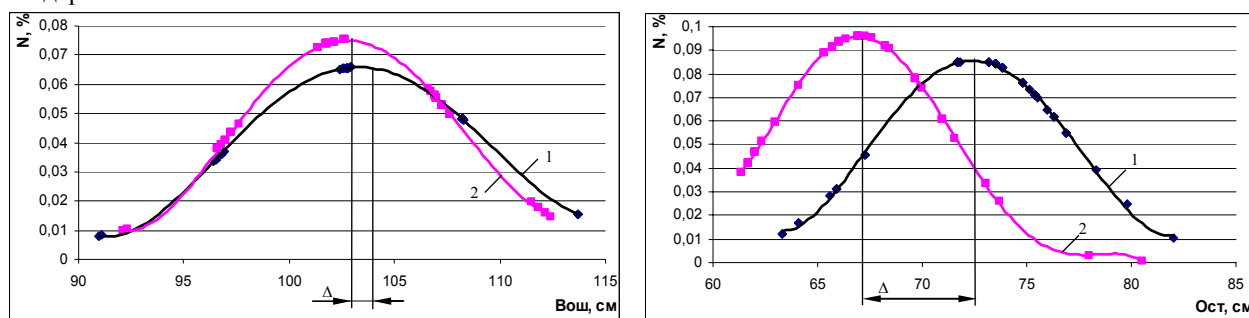
Наступною задачею дослідження було встановити, на скільки суттєвими можна вважати зміни у значеннях підлеглих розмірних ознак сучасних фігур дівчаток, у порівнянні з їх типовими значеннями у антропометричних стандартах. Для цього ми скористалися наступним методом: в рівняння множинної регресії, що розраховані за результатами обстеження (табл. 1, колонка 7), були підставлені значення типових ведучих розмірних ознак одноїменних фігур, що визначені діючими стандартами. Таким чином, ми отримали розраховані значення підлеглих ознак нових типових фігур, що відображають сучасний стан у впливі ведучих розмірних ознак на розвиток підлеглої величини. Різниця  $\Delta$  між розрахованими ( $y_d$ ) і типовими ( $y_t$ ) значеннями підлеглих ознак одних і тих же фігур дозволяє визначити їх зміни ( $\Delta = y_t - y_d$ ). Результати вищезазначених розрахунків, та різниця їх значень приведені в табл. 3.

Таблиця 3

**Розподіл значень підлеглих розмірних ознак ( $x_{\min}$ ,  $x_{\text{ср}}$ ,  $x_{\max}$ ), їх середніх квадратичних відхилень ( $\sigma$ ), значень асиметрії ( $\gamma_1$ ) та ексцесу ( $\gamma_2$ ) фігур у досліджуваній вибірці, розрахованих за рівняннями регресії діючих стандартів ( $y_t$ ) та антропометричних досліджень ( $y_d$ )**

Розмірна ознака	Вид	$x_{\min}$	$x_{\text{ср}}$	$x_{\max}$	$\sigma$	$\gamma_1$	$\gamma_2$
<i>Вош</i>	$y_t$	91,000	103,420	113,700	6,041	-0,285	-0,633
	$y_d$	92,104	102,832	112,430	5,302	-0,197	-0,689
	$\Delta$	-1,104	<b>0,588</b>	1,270	0,739	-0,088	0,056
<i>Ост</i>	$y_t$	63,300	72,514	82,000	4,637	-0,675	-0,333
	$y_d$	61,345	67,004	80,530	4,146	0,928	1,573
	$\Delta$	1,955	<b>5,510</b>	1,470	0,490	-1,603	-1,906
<i>dm</i>	$y_t$	16,500	18,600	22,900	1,395	1,044	1,669
	$y_d$	15,416	17,306	22,464	1,346	1,366	3,095
	$\Delta$	1,084	<b>1,294</b>	0,436	0,049	-0,323	-1,426
<i>n-з dз</i>	$y_t$	14,300	15,656	17,500	0,762	0,225	-0,024
	$y_d$	13,112	14,303	16,956	0,881	0,824	1,067
	$\Delta$	1,188	<b>1,353</b>	0,544	-0,118	-0,599	-1,091

На рис. 1 графічно проілюстровано розподіл значень підлеглих розмірних ознак *Вош* і *Ост* фігур у досліджуваній вибірці розрахованих за рівняннями регресії діючих стандартів ( $y_t$ ) та антропометричних досліджень ( $y_d$ ). За середньоарифметичними значеннями  $y_t$ ;  $y_d$  можливо визначити характер змін ( $\Delta = y_t - y_d$ ) вищезазначених розмірних ознак фігур дітей у сучасній вибірці у порівнянні з типовими фігурами діючих стандартів.



**Рис. 1. Розподіл значень підлеглих розмірних ознак *Вош* і *Ост* фігур у досліджуваній вибірці, розрахованих за рівняннями регресії діючих стандартів (1) та антропометричних досліджень (2)**

Порівнюючи розраховані значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу з їх граничними значеннями [7, додаток 7] при  $\alpha = 0,05$ , ми бачимо, що обхват стегон, поперечний діаметр талії та передньозадній діаметр грудей не підлягають закону нормального розподілу. Це цілком закономірне явище, адже ще в минулому столітті доведено, що широкий діапазон ознак, які виражають розвиток м'язової і жирової тканини, підлягають розподілу правосторонньої асиметричної логнормальної моделі.

При розробці антропометричного стандарту для перетворення асиметрично розподілених ведучих ознак фахівці застосовували метод логарифмічної трансформації виду  $\lg(x + x_0)$ . Однак для характеристики фігур дитячого населення цей метод застосовувати недоцільно, оскільки трансформація не усуває кривизну регресії, а тільки дещо зменшує значення підлеглих ознак (середня арифметична величина замінюється медіаною) [5, 6], тому при складанні рівнянь вона не використовувалася. Встановлено, що на розподіл діаметрів

в більшій мірі впливають обхвати грудей і талії, а вони для досліджуваного однорічного періоду мають значний асиметричний розподіл (для ОгШ:  $\gamma_1 = 0,96$ ,  $\gamma_2 = 1,53$ ; для От:  $\gamma_1 = 1,4$ ,  $\gamma_2 = 3,17$ ), тому і отримано відхилення у показниках асиметрії та ексцесу розрахованих підлеглих величин.

### Висновки та рекомендації

За результатами дослідження способів розрахунку підлеглих розмірних ознак регресивними залежностями першого і другого ступеню встановлено, що факторний вплив ведучих розмірних ознак на розрахунок підлеглих ознак не змінюється від способу його визначення. Тому, для подальших досліджень характеру змін підлеглих розмірних ознак, обираємо рівняння прямолінійної множинної регресії, що просте у використанні і дозволяє достовірно оцінити об'єкт дослідження.

В роботі запропоновано спосіб порівняльної характеристики розподілу підлеглих розмірних ознак у досліджуваній вибірці за результатами регресійних досліджень, який дозволяє визначити характер змін антропометричної характеристики сучасних дітей у порівнянні з діючими стандартами, що були розроблені майже 20 років тому.

### Література

1. Кудрявцева Н.В., Мірчук Л.М. Демографія як фактор, що визначає змінність розмірних ознак типової фігури людини у часі // Вісник Хмельницького національного університету, 2006. – № 4. – С. 128 – 132.
2. Кудрявцева Н.В., Дітковська О.А. Особливості антропометричного розвитку сучасного дитячого населення шкільного віку // Вісник Хмельницького національного університету, 2006. – № 4. – С. 114 – 121.
3. ГОСТ 17916-86. Фигуры девочек типовые. Размерные признаки для проектирования одежды, 1986. – 86 с.
4. ОСТ 17-66-77. Типовые фигуры девочек. Размерные признаки для проектирования одежды, 1977. – 74 с.
5. Размерная типология населения стран – членов СЭВ / Куршакова Ю.С., Зенкевич П.И., Дунаевская Т.Н. и др. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 440 с.
6. Антропометрическая стандартизация населения стран – членов СЭВ / Куршакова Ю.С., Дунаевская Т.Н., Дурыгина Т.Ф. и др. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 200 с.
7. Дунаевская Т.Н., Коблякова Е.Б., Ивлева Г.С., Ивлева Р.В. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии; Под ред. Е. Б. Кобляковой: Учеб. пособие. – М.: Мастерство; Издательский центр «Академия», 2001. – 288 с.
8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: М.: Наука, 1976. – 280 с.
9. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel: учеб. Пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 386 с.: ил.
10. Лук'янова В.В. Комп'ютерний аналіз даних: Посібник. – К.: Видавничий центр «Академія», 2003. – 344 с. (Альма-матер)

Надійшла 22.10.2006 р.

УДК 687: 613.484

О.В. РЕЗНІКОВА, М.Л. РЯБЧИКОВ  
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

## КОРЕЛЯЦІЙНІ ЗАЛЕЖНОСТІ БАЗОВИХ РОЗМІРНИХ ОЗНАК ДЛЯ ПОБУДОВИ ЛІКУВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ КОРСЕТІВ

*Проаналізовані розмірні ознаки людей з вадами опорно-рухового апарату. Показано, що головною розмірною ознакою має бути обхват стегон. Показана близькість розподілу ряду розмірних ознак до нормального, що дозволяє розробити науково обґрунтовану методикою побудови конструкції лікувальних корсетних виробів.*

### Проблема лікування захворювань хребта та методи її вирішення згідно останніх публікацій

Біль у попереку – захворювання 43 % людей у віці від 40 до 60 років. Щороку в США витрати на лікування остеохондроза та виплати за листами хворих складають біля 50 млн доларів. У Швеції з населенням 8,4 млн чоловік інвалідами в наслідок остеохондрозу щорічно стають 13 тис. чоловік [1]. В останні роки малорухливий спосіб життя, проведення часу за комп'ютером сприяють розвитку остеохондроза у дітей та підлітків. Для профілактики, лікування та реабілітації остеохондрозу використовуються корсети різної конструкції залежно від рівня ураження хребта (відділ попереку, нижньогрудний, середньогрудний та верхньогрудний відділи) [2]. Українські державні ортопедичні підприємства, зокрема, харківське, які обслуговують пільгові категорії населення виготовляють корсети з тканих матеріалів за методикою та технологією

розробленими десятки років тому [3]. В той же час серед споживачів популярні моделі виробів із в'язаних текстильних матеріалів, які виготовляють такі російські приватні підприємства, як: „Огонек”, „Дон”, „Ортодилен”, „Малтри”, „Крейд-Юнион”, – та зарубіжні: „ORLETT”, „NECKERMANN”, „LYSOFORM” (Германія), „FOSTA” (США).

### Невирішені частини загальної проблеми

Аналіз показує, що розмірна типологія для проектування лікувальних швейних виробів (бандажів) розроблена лише для нижньої частини фігур жінок – майбутніх матерів [4]. Також недостатньо обґрунтовані розмірні признаки для побудови корсетів. Але беручи до уваги, що вартість корсету з еластичних матеріалів складає біля 200 грн, а корсету з тканих матеріалів – біля 100 грн при їх достатньо тривалому вжитку, необхідно підняти конкурентоспроможність за рахунок покращення функціональних показників та динамічних показників відповідності анатомо-фізіологічним особливостям фігури окремої людини. **Метою роботи** є провести аналіз і виділити основні розмірні ознаки людей для побудови лікувально-профілактичних корсетів.

### Основний матеріал дослідження

Інформація з випуску корсетів за 2004 рік Харківським казенно-експериментальним протезно-ортопедичним підприємством згідно “Звітній номенклатурі технічних засобів реабілітації осіб з вадами опорно-рухового апарату, які виготовляють протезно-ортопедичні підприємства ПО „Укрпротез”, показує, що текстильні корсети займають перше місце серед інших видів корсетів по кількості вироблених одиниць (корсети зі шкіряними гільзами – 282 од., з гільзами з пластика – 75 од., з гільзами з термопластика – 3 од., текстильні – 2035 од., з гільзами з термопластичного смол – 7) і відповідно актуальним є удосконалення методик їх виробництва. На основі матеріалів Харківського казенного експериментального протезно-ортопедичного підприємства розглянута методика побудови текстильних корсетів до нижніх кутів лопаток і проведений аналіз вимірювань людей (52 чоловік) з проблемами опорно-рухового апарату (остеохондроз попереку). Текстильні корсети до нижніх кутів лопаток випускаються двох видів: зі шнуруванням і з застіркою „велкро” (рис. 1).

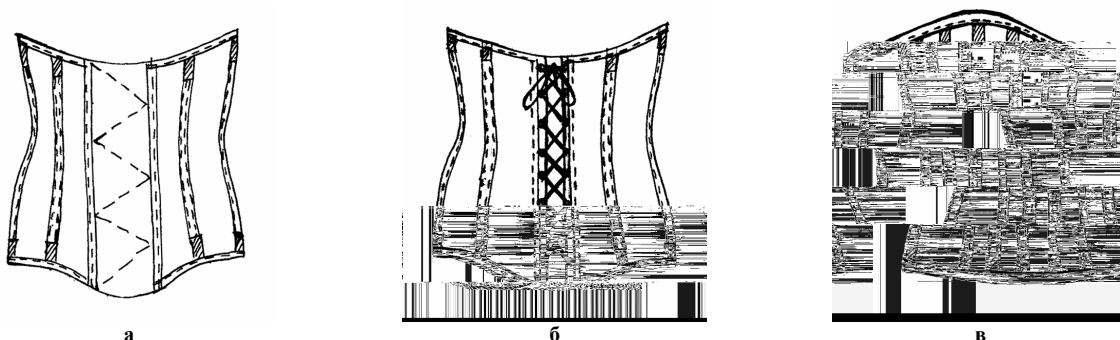


Рис. 1. Корсети до нижніх кутів лопаток: а – застібка „велкро”, б – шнурування, в – вид ззаду

Для побудови базової основи корсету необхідно 6 вимірювань: обхват грудей, обхват талії, обхват стегон, висота переду, висота спинки 1, висота спинки 2. Методика проведення вимірювань наведена у табл. 1 з урахуванням антропометричних точок (рис. 2).

Таблиця 1

### Методика вимірювань

№	Розмірна ознака	Позначення розмірної ознаки	Методика вимірювання
1	Обхват грудей	ОГ	Сантиметрова стрічка проходить через нижні кути лопаток (3 рис.2), спереду під груддю
2	Обхват талії	ОТ	Стрічка повинна проходити горизонтально навкруги тулуба на рівні лінії талії
3	Обхват стегон	ОС	Стрічка повинна проходити горизонтально ззаду на 2 см нижче кресцово-копчикового зчленування (4 рис. 2), попереду на рівні лобка
4	Висота переду	ВП	Вимірюють від точки, розташованої на 2 см нижче мечевидного відростка (1 рис.2) і до лобка (2 рис. 2)
5	Висота спинки 1	ВС 1	Вимірюють від нижніх кутів лопаток до лінії талії
6	Висота спинки 2	ВС 2	Вимірюють від лінії талії до середини стегон

Примітка: Всі вимірювання виконуються щільно по фігурі



Рис. 2. Антропометричні точки: а – вид спереду; б – вид ззаду

За результатами вимірювань був розрахований розподіл значень кожної розмірної ознаки в середовищі MATLAB. Щоб більш переконливо визначити характеристики розподілу вихідні дані було розділено на відповідні обхвати стегон, бо корсети мають своєю опорною поверхнею стегна. Таким чином маємо 5 відносних показників  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$ , які дорівнюють відповідно відношенню висоти переду (ВП), обхвату грудей (ОГ), обхвату талії (ОТ), висоти спинки 1 (ВС 1), висоти спинки 2 (ВС2) до обхвату стегон (ОБ). Результати розподілу значень розмірних ознак по відношенню до обхвату стегон показано на рис. 3.

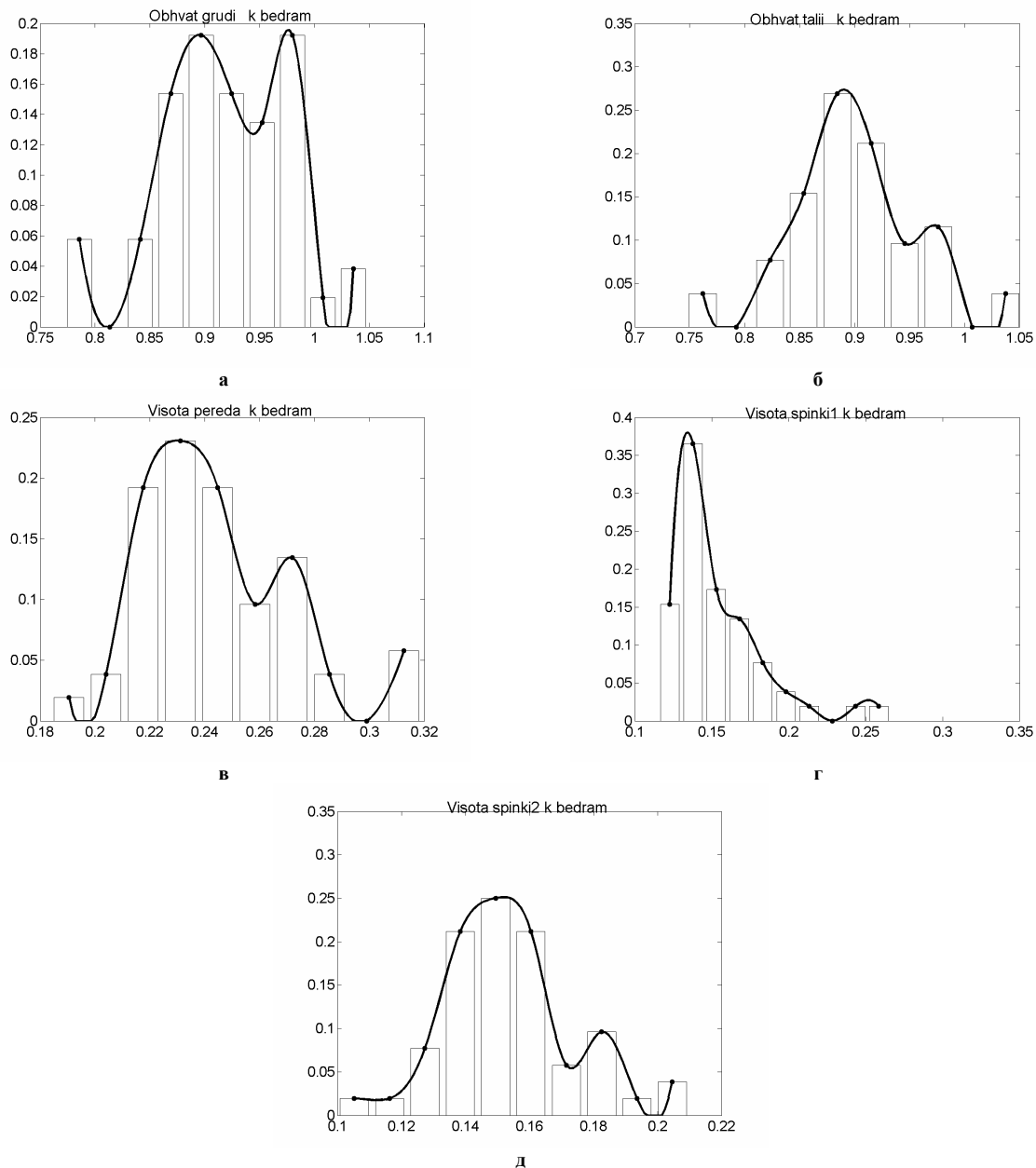


Рис. 3. Результати розподілу розмірних при знаків по відношенню до стегон: а – обхват грудей; б – обхват талії; в – висота переду; г – висота спинки 1; д – висота спинки 2



Як показує аналіз рис. 3, більшість отриманих відносних показників наближена до нормального розподілу. Була перевірена збіжність вказаних розподілів до нормального за критерієм Пірсона. При цьому показник  $\chi^2$  знаходиться в межах 0,8 – 0,92. Також були визначені статистичні параметри відносних показників: математичне очікування М, дисперсія Д, середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  (табл. 2).

Таблиця 2

Відносний показник	Статистичні параметри		
	М	Д	$\sigma$
$\varphi_1$	0,9289	0,0037	0,0605
$\varphi_2$	0,9162	0,0034	0,0585
$\varphi_3$	0,2507	0,0008	0,0279
$\varphi_4$	0,1606	0,0009	0,0004
$\varphi_5$	0,1587	0,0004	0,0210

Отримані значення математичного очікування вказують на те, що обхвати грудей та талії близькі за значеннями до обхвату стегон, висота переду складає 25 % від обхвату стегон, а висота спинки 1 і висота спинки 2 приблизно по 16 %. Найменші відхилення відносних показників від їх середніх значень у  $\varphi_4$  ( $D = 0,0004$ ), який характеризує висоту спинки 2. Найбільша близькість значень розмірної ознаки спостерігається у висоті переду 1 ( $\sigma = 0,0004$ ).

Для визначення зв'язку між розмірними ознаками визначені коефіцієнти парної кореляції за формулою:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y - \mu_y)}{n \sigma_x \sigma_y}, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість вимірювань розмірних ознак (дорівнює 52);

$x_i$  – значення кожної з розмірних ознак ОГ, ОТ, ВП, ВС 1, ВС 2;

$\mu_x$  – середнє значення кожної з розмірних ознак ОГ, ОТ, ВП, ВС 1, ВС 2;

$y$  – значення розмірної ознаки ОБ;

$\mu_y$  – середнє значення розмірної ознаки ОБ;

$\sigma_x$  – середньоквадратичне відхилення кожної з розмірних ознак ОГ, ОТ, ВП, ВС 1, ВС 2;

$\sigma_y$  – середньоквадратичне відхилення розмірної ознаки ОБ.

Аналіз коефіцієнтів показує, що існує високий кореляційний зв'язок між розмірними ознаками, орієнтованими в одній площині ( $r_{2,3} = 0,84$ ), і середній ступінь зв'язку між розмірними ознаками, орієнтованими в різних площинах ( $r_{4,3} = 0,51$ ) (табл. 3).

Таблиця 3

#### Коефіцієнти кореляційного зв'язку між розмірними ознаками

Коефіцієнт кореляції	Значення
$r_{x1, y3}$	0,80
$r_{x2, y3}$	0,84
$r_{x4, y3}$	0,51
$r_{x5, y3}$	0,04
$r_{x6, y3}$	0,12

#### Висновки

В роботі проаналізовані розмірні ознаки для побудови швейних лікувальних корсетів. Встановлено, що ведучою розмірною ознакою повинен бути обхват стегон. Показана близькість розподілу ряду розмірних при знаків до нормального, що дозволяє розробити науково обгрунтовану методику побудови конструкції лікувальних корсетних виробів для людей з вадами опорно-рухового апарату. Відсутність кореляційного зв'язку між ВС 1, ВС 2 та ОБ ( $r_{5,3} = 0,04$ ,  $r_{6,3} = 0,12$ ) можна пояснити невеликою кількістю вибірки, і як наслідок значною похибкою. Актуальність проведення подальших досліджень підтверджується значною необхідністю – 1500-2000 одиниць виробів лише в харківському регіоні.

#### Література

1. Матеріали Інтернет сайту [ozon-invest.com](http://ozon-invest.com).
2. РСТ УССР 1868 – 89. Изделия бандажные лечебно-профилактические. Общие технические условия – Введ. с 01.07.90. – К.: ГОСПЛАН УССР, 1990. – 12 с.
3. Технология протезно-ортопедических изделий / Под ред. канд. техн. наук А.П.Кружекина. – М.:

Легпромбытгиздат, 1985. – 312 с.

4. Рогатюк Т.М. Разработка размерной типологии женщин для проектирования лечебных швейных изделий: Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.19.04. – Л., 1987. – 18 с.

Надійшла 14.10.2006 р.

УДК 687. 016.5:515.1

О.В. ЗАХАРКЕВИЧ, А.Л. СЛАВІНСЬКА

Хмельницький національний університет

## СПОСІБ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ПОБУДОВИ КОНСТРУКТИВНИХ ФОРМОТВОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

*Розглянуто питання дослідження залежності між параметрами формотворних елементів пілочки та ведучими розмірними ознаками. На основі залежності виконано типізацію параметрів нагрудної виточки. Розроблений шаблон для параметричної перевірки побудови конструктивних формотворних елементів та побудови нагрудної виточки.*

### Постановка проблеми

Як відомо, основою для утворення ліній внутрішніх членувань є переміщення нагрудної виточки в модельну лінію [1]. Проте, при перенесенні виточки традиційними методами у положення як відмінне від основного, так і при введенні додаткових членувань, відсутні упорядкованість проектних операцій, ідентичність графічної інформації, контроль точності побудови модельних ліній.

Структура загальновідомих способів моделювання не передбачає використання контрольних операцій, які визначають механізм управління як процесом модифікування, так і якістю проектованої модельної конструкції.

Отже, виникає об'єктивна необхідність у розробці способу параметричної перевірки побудови конструктивних формотворних елементів, що забезпечить однозначне визначення параметрів модельної лінії для будь-якого розміро-зросту та повноти фігури споживача.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

В окремих роботах частково розглянуті особливості параметричної побудови вихідних формотворних елементів (нагрудних, плечових виточок тощо) [2, 3], проте наявна інформація справедлива лише для розглянутого крою виробів і не містить рекомендацій щодо їх модифікування при побудові модельної конструкції.

Заслугує на увагу широке застосування методів моделювання з використанням шаблонів [4, 5], що досить прості у використанні, універсальні і багатофункціональні. Проте, такі шаблони використовуються в основному для антропометричної модифікації конструкції та нанесення модельних особливостей, які не вимагають змін формотворних елементів конструкції.

### Постановка мети та завдань дослідження

Мета дослідження – розробити спосіб параметричної перевірки побудови конструктивних формотворних елементів, що забезпечить контроль переорієнтації конструктивних точок у процесі конструктивного модифікування вихідної конструкції пілочки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- виявити взаємозв'язок ведучих розмірних ознак з параметрами геометрії виточки;
- розробити шаблон для параметричної перевірки побудови нагрудної виточки та модифікаційних членувань, в основі яких лежить виточка.

### Виклад основного матеріалу

Оскільки найпоширенішим елементом формоутворення є виточка [1], то подальше дослідження виконано для параметрів нагрудної виточки. Вона характеризується довжиною сторін (см) та розхилом (рад, град, см).

З метою встановлення залежності між параметрами формотворних елементів пілочки та ведучими розмірними ознаками розраховані параметри нагрудної виточки для восьми фігур типової тілобудови за даними методики СМКО РЕВ. Для дослідження проведено повний трифакторний експеримент у екстремальних точках. В результаті отримані наступні рівняння регресійних залежностей (з урахуванням значимих коефіцієнтів):

$$l_{вум} = 1,46 - 0,042T_1 + 0,11T_{16} + 0,05T_{19}, \quad r_{вум} = -2,46 - 0,03T_1 + 0,14T_{16} - 0,02T_{19}. \quad (1)$$

Адекватність кожної моделі підтверджена критерієм Фішера:  $F_{розн} = 1,94 - 3,04 < F_{табл} = 3,6$ .

Розрахункові та експериментальні графіки залежностей між ведучими розмірними ознаками та величинами відповідних параметрів нагрудної виточки представлені на рис. 1.

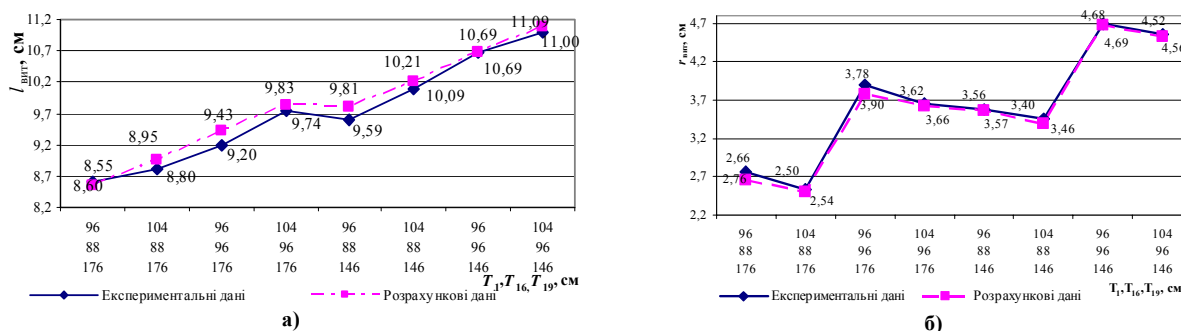


Рис. 1. Залежність між ведучими розмірними ознаками та параметрами виточки: а) довжиною; б) розхилом

Отримані залежності дають можливість прогнозувати параметри виточки без побудови конструкції відповідного розміро-зросту, а також виконувати перевірку правильності побудови конструктивних формотворних елементів без експериментального макетування.

За даними експерименту побудована графічна залежність між довжиною виточки та її розхилом. У табличному процесорі Excel виконано апроксимацію графічної залежності між параметрами, що розраховані за ЄМКО РЕВ, за допомогою різних функцій: лінійна залежність, степенева залежність, логарифмічна та експоненціальна, поліноміальна 5-го та 6-го ступеню. Найточніше відтворює дійсну залежність поліноміальний ряд 5-го або 6-го ступеню ( $R^2=0,9997$ ). Проте такі розрахунки дуже трудомісткі, тому для пересічного користувача доцільно застосовувати лінійну залежність:

$$r = 0,827l - 4,453. \quad (2)$$

В результаті розрахунків параметрів виточки у конструкціях, що побудовані на один розміро-зріст за різними методиками конструювання, отримана наступна залежність:

$$r = 0,290l + 0,683. \quad (3)$$

Оскільки аналіз лінійних залежностей (2) і (3) показує значні відмінності коефіцієнтів рівнянь, то існує необхідність додаткового розрахунку коефіцієнтів рівнянь з введенням певних умов обмеження: константа у зазначених виразах повинна дорівнювати нулю. В результаті вирази приведені до узагальненого вигляду:

$$r = 0,37l. \quad (4)$$

Згідно з [6] при перенесенні нагрудної виточки із основного положення у модельне розхил виточки збільшується (зменшується) у стільки ж разів у скільки збільшується (зменшується) довжина виточки. Отже, при пропорційному збільшенні (зменшенні) обох частин виразу, що описує залежність між розхилом і довжиною виточки має місце рівність:

$$k \cdot r = k(al + b) = k \cdot a \cdot l + k \cdot b, \quad (5)$$

де  $l, r$  – довжина і розхил нагрудної виточки відповідно, см;  $a, b$  – відповідні коефіцієнти;  $k$  – коефіцієнт збільшення (зменшення).

З іншого боку, при підстановці у той же вираз пропорційно – збільшених або зменшених параметрів виточки, отримаємо рівність:

$$k \cdot r = k \cdot a \cdot l + b. \quad (6)$$

Оскільки ліві частини виразів (5) і (6) тотожні, то праві частини вказаних рівнянь – також рівні. Проте таке твердження справедливе лише для значення коефіцієнта збільшення (зменшення)  $k=1$  і  $k=0$ . Тобто отриману раніше залежність (2) між довжиною і розхилом нагрудної виточки доцільно використовувати для розрахунку параметрів виточки лише у одному положенні (для ЄМКО РЕВ – із середини переду). При використанні для розрахунку параметрів виточки узагальненого виразу (константа – нуль), подібної суперечності не виникає. Отже, узагальнений вираз може використовуватись для розрахунку і перевірки параметрів виточки у будь-якому, заданому моделлю положенні, незалежно від методики конструювання.

Проте, на сьогодні у практиці конструювання на різних етапах проектування знаходять широке застосування шаблони [2-5]. Це підтверджує можливість розробки способу параметричної перевірки правильності побудови конструктивних формотворних елементів за допомогою шаблонів.

В основу типізації параметрів конструктивних елементів виточки покладено розмірний ряд ознаки  $T_{46}$ , нормалізований за значенням інтервалу байдужості. Це дозволило розробити уніфікований ряд лінійних розмірів нагрудної виточки (табл. 2), який є основою шаблону для параметричної перевірки конструктивних формотворних елементів.

Уніфікований ряд лінійних розмірів нагрудної виточки

$T_{46}$	$l$	$У$	$X$	$T_{46}$	$l$	$У$	$X$	$T_{46}$	$l$	$У$	$X$	$T_{46}$	$l$	$У$	$X$
8,6	15,75	15	4,81	10,1	16,21	15	6,14	11,6	16,63	15	7,19	13,1	17,02	15	8,04
8,9	15,85	15	5,11	10,4	16,30	15	6,37	11,9	16,71	15	7,37	13,4	17,09	15	8,19
9,2	15,94	15	5,39	10,7	16,38	15	6,59	12,2	16,79	15	7,55	13,7	17,16	15	8,34
9,5	16,03	15	5,65	11,0	16,47	15	6,80	12,5	16,87	15	7,72	14,0	17,23	15	8,48
9,8	16,12	15	5,90	11,3	16,55	15	7,00	12,8	16,95	15	7,88	14,3	17,30	15	8,62

Розрахунок параметрів виточки виконаний для діапазону 8,6-14,3 см розмірної ознаки відстань між сосковими точками  $T_{46}$  (згідно ЄМКО РЕВ) з кроком 0,3 см, що дорівнює інтервалу байдужості по вказаній розмірній ознаці. Межі діапазону є відповідно мінімальним та максимальним значенням половини відстані між виступаючими точками грудей відповідно до ГОСТу 17522-72. Розрахункова схема представлена на рис. 3.

Дані табл. 2 використані для розробки шаблону (рис. 4).

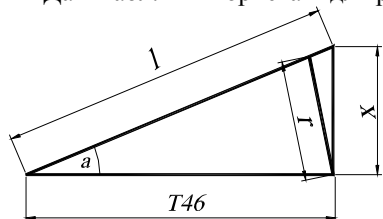


Рис. 3. Розрахункова схема параметрів нагрудної виточки для розробки шаблону

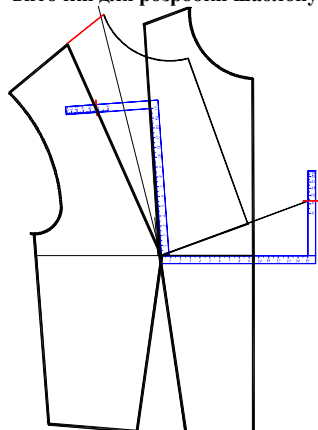


Рис. 4. Перевірка правильності переносу нагрудної виточки у модельне положення

Шаблон являє собою дві взаємоперпендикулярні шкали з різними масштабами. Одна із них (горизонтальна) дорівнює 15 см (найближче ціле значення, що покриває максимальну довжину виточки, що виходить із середини переду) і використовується як лінійка для вимірювання довжини нагрудної виточки у базовому положенні (або відстані від центру грудей до середини переду). Особливістю вертикальної лінійки є шкала з нерівномірним масштабом.

Для використання шаблону (рис. 4) необхідно сумістити позначку 0 горизонтальної (довгої) шкали з центром грудей, виміряти довжину сторони виточки і отриману величину позначити на вертикальній (короткій) шкалі. Пряма, що з'єднує центр грудей та відповідну позначку на вертикальній шкалі, є другою стороною нагрудної виточки.

#### Висновки

Конструкція розробленого шаблону забезпечує перевірку правильності виконання побудови та конструктивного модифікування конструктивних формотворних елементів. Крім того, шаблон може бути використаний для побудови нагрудної виточки у базовій конструкції без розрахунків її параметрів.

#### Література

1. Конструирование одежды с элементами САПР / Под ред. Е.Б. Кобляковой. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 464с.
2. Мартынова А.И., Андреева Е.Г. Конструктивное моделирование одежды. – М.: МГАЛП, 1999. – 216с.
3. Кузьмичев В.Е. Крой по-китайски / Ателье. – 2003. – № 7. – С.42-43.
4. Бочкарева В.Е. Выкройки для женщин шикарных размеров: Модели на любую фигуру. – М.: РИПОЛ классик, 2006. – 608с.: ил.
5. Кузьмичев В.Е., Шенчунь Л. Китайские шаблоны для проектирования и моделирования женской одежды (часть II) / Швейная промышленность. – 2004. – № 2. – с.43-46.
6. Бланк А.Ф., Фомина З.М. Практическая книга по моделированию женской одежды. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 256с.

Надійшла 15.10.2006 р.

**АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ВІДХОДІВ ПОЛІМЕРІВ В РОТОРНИХ ДРОБАРКАХ**

*Розглянуто технологічний процес механічного подрібнення полімерних матеріалів в роторних дробарках. Запропонована математична модель руху частинок подрібнюваного матеріалу в помольній камері роторної дробарки з безперервною проточною класифікацією готового продукту. Дана модель дозволяє з достатнім ступенем точності визначити продуктивність видалення готового продукту крізь отвори решітки, при різних значеннях кутової швидкості обертання ротора, конструктивних розмірах дробарки і ступеня заповнення камери дроблення.*

**Постановка задачі**

В даний час одним з шляхів вирішення проблеми підвищення ефективності процесу подрібнення є використання подрібнювачів, що реалізують зріз або удар при рекуперативній структурній схемі руху матеріалу [1]. До подрібнювачів роторного типу відносять машини ударної і ріжучої дії, в яких основними елементами конструкції є ротор і корпус з закріпленими на них інструментами (молотками, білами, відбійниками, або ножами). Корпус має також вікно для завантаження матеріалу, і колосникову решітку для вивантаження кінцевого продукту. Ротор обертається навколо горизонтальної вісі, що спричиняє взаємодію рухомих і нерухомих інструментів з частками матеріалу. Роторні подрібнювачі ударної дії широко використовують в гірничодобуваючій і хімічній галузях для подрібнення крихких матеріалів, а ріжучої дії переважно для переробки полімерів, наприклад, відходів легкої промисловості. Вивчення процесів, що відбуваються при подрібненні матеріалів в роторних дробарках дасть можливість отримання математичного апарату для проектування обладнання, визначення раціональних технологічних режимів, а також обґрунтованого підходу до вибору дробарок залежно від технологічної задачі.

Ця робота присвячена теоретичному дослідженню руху частинок подрібнюваного матеріалу в робочій камері роторної дробарки з безперервною проточною класифікацією готового продукту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Питанню створення методів проектування машин для подрібнення присвячено багато наукових праць, в яких запропоновано гіпотези, що дозволяють аналітично описати взаємозв'язок таких параметрів процесу як міцність матеріалу, енерговитрати, дисперсний склад продукту, конструктивні і технологічні характеристики подрібнювачів. Аналіз придатності основних з розроблених теорій для використання в інженерних розрахунках наведено в монографіях [1, 2], де зроблено висновок, що не зважаючи на певні теоретичні досягнення задача синтезу структури, розрахунку конструктивних і технологічних параметрів машин для подрібнення лишається проблемою і виконується в основному на основі інтуїтивного підходу конструкторів.

**Формулювання цілей**

Метою математичного моделювання процесів, що відбуваються при подрібненні матеріалів в механічних пристроях є встановлення залежності кінцевого результату, який визначається ступінню подрібнення, енерговитратами і продуктивністю від фізико-механічних властивостей матеріалу, конструкції пристрою і технологічних режимів. Як було запропоновано в роботі [3], ця задача може бути вирішена шляхом аналізу зв'язків, що мають місце при реалізації процесу подрібнення конкретним способом. При цьому, пропонується виходити з закону збереження енергії, враховуючи всі види механічні втрат, енергію, що витрачається безпосередньо на утворення нових поверхонь і витрат енергії на завантаження – вивантаження матеріалу. Метою представленого дослідження є отримання математичної моделі кінетики вивантаження матеріалу.

**Виклад основного матеріалу**

Умовою нормальної роботи подрібнювача є узгодженість швидкості утворення потрібної фракції матеріалу, швидкостей видалення і завантаження матеріалу. Процес завантаження матеріалу може здійснюватись з постійною швидкістю за допомогою спеціальних пристроїв, або періодично.

Робота подрібнювачів роторного типу з точки зору кінетики процесу може бути представлена шляхом розгляду рівняння балансу потоків матеріалу

$$Q_3 = Q_P = Q_B, \quad (1)$$

де  $Q_3$  – продуктивність завантаження матеріалу,  $Q_P$  – продуктивність утворення фракції матеріалу заданого розміру,  $Q_B$  – продуктивність видалення утвореної фракції.

Для відображення роботи подрібнювача у безперервному режимі потрібно мати модель кінетики видалення матеріалу при досягненні розміру часток критичного значення  $a_k$ .

Продуктивність видалення кінцевої фракції залежить від характерного розміру отворів решітки (як правило діаметру отвору  $d$ ), кількості отворів  $n_{отв}$ , швидкості обертання ротора і його радіуса, а також від

концентрації кінцевої фракції в загальній масі матеріалу  $C_k$ . Якщо прийняти, що теоретична продуктивність одного отвору  $q_6$ , то продуктивність вивантаження матеріалу визначається виразом.

$$Q_B = q_6 n_{отв} C_k \quad (2)$$

Значення питомої продуктивності  $q_6$  залежить від швидкості руху часток матеріалу скрізь отвір решітки. Розглядаючи поверхню решета по якій ковзає продуктивний шар, можна сказати, що в момент проходження над отвором решета частинки шару в результаті радіальної складової окружної швидкості спрямовуються углиб отворів у вигляді стовпчика обмеженого діаметром отворів решета. Рух виділеного стовпчика можна ототожнити з рухом частинки по площині, що обертається з деякою кутовою швидкістю  $\omega$ . На рис. 1 представлена схема руху частинок (стовпчика) через отвір решета.

Прийняті спрощуючі положення. 1. У момент проходження над отвором решітки частинки шару в результаті радіальної складової окружної швидкості рухаються углиб отворів у вигляді стовпчика діаметром  $d$ . 2. Силою тяжіння нехтуємо. 3. Швидкість руху шару матеріалу рівна швидкості руху ротора. 4. При проходженні над пасивною частиною поверхні решета продуктивний шар ущільнюється під дією відцентрових сил. 5. У момент знаходження над активною частиною нижні частинки відриваються від загальної маси, зв'язок з шаром слабшає, і вони заглиблюються в отвір.

У порожнині дробарки, на рухому уздовж ножа частинку матеріалу діють наступні сили (рис. 2):

1) відцентрова сила інерції  $F_g = m_{cm} \omega^2 r$ ; 2) сила інерції Коріоліса  $F_{кор} = 2m_{cm} \omega \frac{dr}{dt}$ ; 3) нормальна сила реакції  $F_n = |F_{кор}|$ ; 4) сила тертя частинки матеріалу об поверхню ножа  $F_m = 2fm_{cm} \omega \frac{dr}{dt}$ ; 5) сила опору проходження матеріалу скрізь отвір  $F_{он}$ .

Прийняті позначення:  $r$  – поточний радіус руху матеріалу уздовж поверхні ножа дробарки;  $\frac{dr}{dt} = V_r$  – радіальна швидкість руху частинки матеріалу уздовж ножа дробарки;  $t$  – час руху матеріалу уздовж ножа;  $f$  – коефіцієнт тертя частинки матеріалу об поверхню ножа.

З огляду на те, що уздовж ножа частинки матеріалу рухаються суцільним потоком, то в першому наближенні силою аеродинамічного опору повітря можна нехтувати [4].

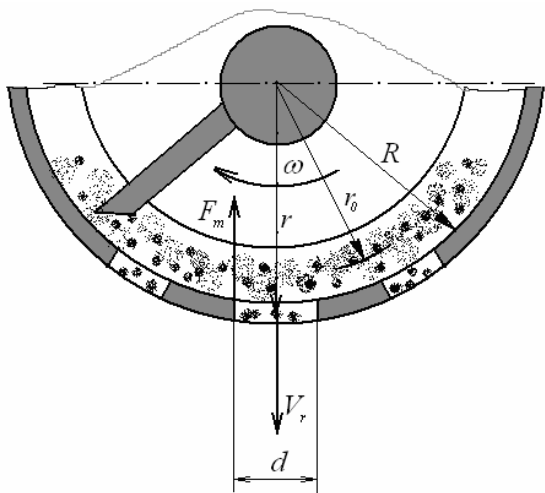


Рис. 1. Схема руху продуктового стовпчика скрізь отвір решета

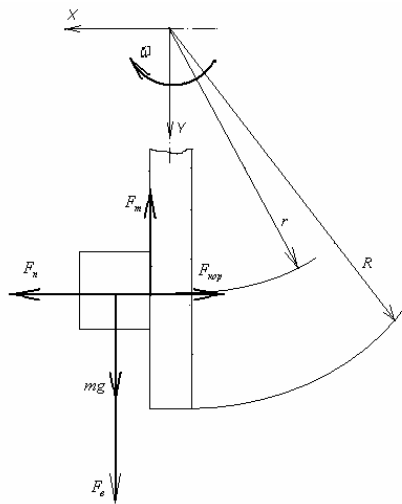


Рис. 2. Схема сил, що діють на одну частинку подрібнюваного матеріалу при її русі уздовж робочої лопаті дробарки

Проектуючи тоді сили, що залишилися, на вісь  $Y$  (рис. 2), можна отримати наступне диференціальне рівняння для радіального руху частинки матеріалу уздовж ножа дробарки:

$$m_{cm} \frac{d^2 r}{dt^2} = F_g - F_m - F_{он} \quad (3)$$

Підставляючи в рівняння (3) відповідні значення сил  $F_g$  і  $F_m$ , отримаємо:

$$m_{cm} \frac{d^2 r}{dt^2} = r m_{cm} \omega^2 - 2 f m_{cm} \omega \frac{dr}{dt} - F_{он} \quad (4)$$

Загальне рішення лінійного неоднорідного диференційного рівняння (4) має вигляд

$$r = C_1 \exp\left[\omega\left(\sqrt{1+f^2} - f\right) \cdot t\right] + C_2 \exp\left[-\omega\left(\sqrt{1+f^2} + f\right) \cdot t\right] + \frac{F_m}{m_{cm}\omega^2}, \quad (5)$$

де  $t$  – час руху стовпчика над отвором.

Швидкість руху стовпчика знаходимо шляхом диференціювання рівняння (5)

$$V_r = C_1 \omega\left(\sqrt{1+f^2} - f\right) \exp\left[\omega\left(\sqrt{1+f^2} - f\right) \cdot t\right] + C_2 \omega\left(\sqrt{1+f^2} + f\right) \exp\left[-\omega\left(\sqrt{1+f^2} + f\right) \cdot t\right]. \quad (6)$$

Постійні  $C_1$  і  $C_2$  визначаються з початкових умов: при  $t = t_0$ :  $r = r_0$  і  $V_r = 0$ .

З урахуванням початкових умов, отримаємо два рівняння для визначення постійних  $C_1$  і  $C_2$

$$\begin{cases} C_1 + C_2 = r_0 - \frac{F_m}{m_{cm}\omega^2}, \\ C_1\left(\sqrt{1+f^2} - f\right) - C_2\left(\sqrt{1+f^2} + f\right) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Рішення системи (7) дає

$$C_1 = \left(r_0 - \frac{F_m}{m_{cm}\omega^2}\right) \frac{\sqrt{1+f^2} + f}{2\sqrt{1+f^2}}; \quad C_2 = \left(r_0 - \frac{F_m}{m_{cm}\omega^2}\right) \frac{\sqrt{1+f^2} - f}{2\sqrt{1+f^2}}. \quad (8)$$

Підставляючи (8) в (6) отримуємо

$$V_r = \frac{\omega\left(r_0 - \frac{F_m}{m_{cm}\omega^2}\right)}{2\sqrt{1+f^2}} \left( \exp\left[\omega\left(\sqrt{1+f^2} - f\right) \cdot t\right] - \exp\left[-\omega\left(\sqrt{1+f^2} + f\right) \cdot t\right] \right). \quad (9)$$

Замінюючи значення постійних  $C_1$  і  $C_2$  їх наближеними виразами отримаємо

$$v_r = \left(r_0 - \frac{F_m}{m_{cm}\omega^2}\right) \left(\omega^2 t - \omega^3 t^2\right). \quad (10)$$

Якщо врахувати, що отвір решета має круглу форму, то час руху частинок шару над ним буде різним.

Для спрощення прийmemo  $t = \frac{d}{\omega R}$ . Тоді формула (10) прийме наступний вигляд

$$v_r = \left(r_0 - \frac{F_m}{m_{cm}\omega^2}\right) \times \left(\frac{\omega d}{R} - \frac{\omega d^2}{R^2}\right). \quad (11)$$

Радіус  $r_0$  виразимо наступним чином

$$r_0 = \frac{1}{2} \left( R + \sqrt{R^2 - \frac{m\chi\beta}{\pi\rho L}} \right), \quad (12)$$

де  $m$  – маса матеріалу в порожнині дробарки в момент часу  $t$ ;  $\chi$ ,  $\beta$  – відповідно коефіцієнти, що враховують залежність насипної густини матеріалу від розміру частинок і нерівномірність розподілу маси матеріалу по порожнині дробарки.

Маса стовпчика матеріалу в продуктовому шарі може бути наближено визначена за формулою

$$m_{cm} = \frac{\pi d^2}{4} h \rho = \frac{\pi d^2 \rho}{4} \left( R - \sqrt{R^2 - \frac{m\chi\beta}{\pi\rho L}} \right). \quad (13)$$

З урахуванням (11), (12) і (13) вираз (2) приймає вигляд

$$Q_B = \frac{\pi d^2}{4} n_{oms} C_k \rho \left[ \frac{1}{2} \left( R + \sqrt{R^2 - \frac{m\chi\beta}{\pi\rho L}} \right) - \frac{4F_m}{\pi d^2 \rho \left( R - \sqrt{R^2 - \frac{m\chi\beta}{\pi\rho L}} \right) \omega^2} \right] \times \left( \frac{\omega d}{R} - \frac{\omega d^2}{R^2} \right). \quad (14)$$

Рівняння (14) дозволяє визначити об'ємну продуктивність вивантаження кінцевої фракції матеріалу залежно від її концентрації в загальній масі. Це рівняння справедливе для випадку, коли весь продукт, що знаходиться над отвором решета, складається з частинок з розміром, що забезпечує їх проходження через отвір решета.

Таким чином, отримано математичну модель кінетики процесу подрібнення матеріалу в роторних дробарках, яка дозволяє визначати продуктивність і ступень подрібнення при різних технологічних режимах і конструктивних параметрах обладнання.

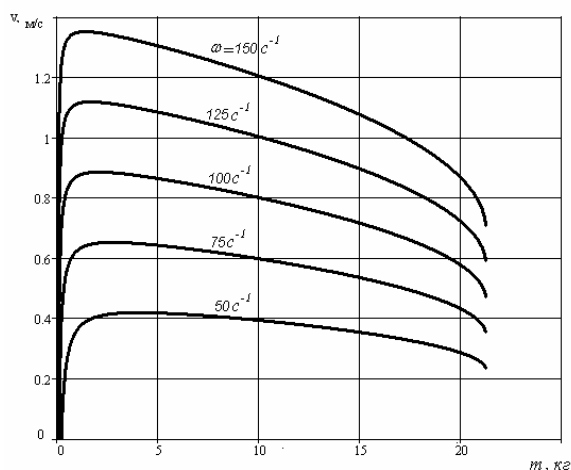


Рис. 3. Залежність швидкості руху часток матеріалу скрізь отвори решітки від маси завантаження при різних швидкостях обертання ротору

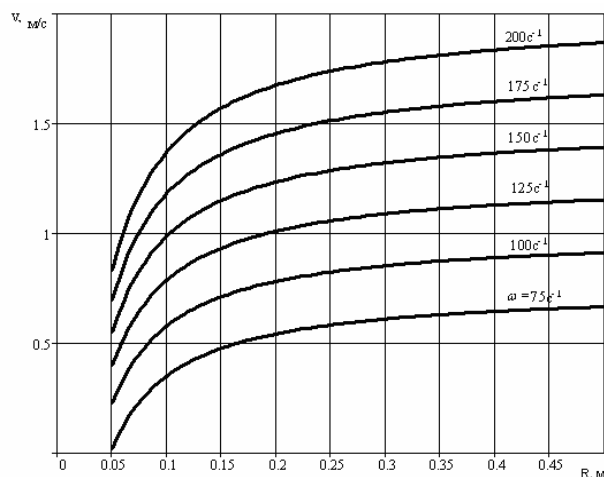


Рис. 4. Залежність швидкості руху часток матеріалу скрізь отвори решітки від її радіусу при різних значеннях швидкості ротору

### Висновки

В результаті аналітичних досліджень отримано залежності, представлені на рис. 3 і 4. Залежність продуктивності решітки від маси завантаження має явно екстремальний характер, що свідчить про існування найбільш ефективного режиму роботи дробарок з точки зору ступеня заповнення камери. Збільшення радіусу решітки призводить до збільшення її пропускної здатності решітки тільки до певних меж і можна зробити висновок, що при проектуванні дробарок доцільне обмеження радіусу до 0,3 м.

Таким чином, швидкість матеріалу при проходженні його через отвір решета визначатиметься в основному відстанню від центру тяжкості стовпчика матеріалу, радіусом установки решета, кутовою швидкістю матеріалу по поверхні решета і масою частинок в стовпчику. Отримано рішення рівняння, яке дозволяє визначити швидкість руху часток скрізь отвори, від якої залежить час перебування подрібненого матеріалу в камері дробарки та її продуктивність. Згідно моделі швидкість проходження залежить від геометричних і кінематичних параметрів пристрою, товщини продуктового шару матеріалу на решітці і сили опору рухові часток.

### Література

1. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 1968. – 384 с.
2. Скиба М.Є. Обладнання для переробки відходів. Навчальний посібник. Хмельницький., ХДУ, 2004, 90 с.
3. Місяць В.П. Принципи побудови узагальненої математичної моделі процесу подрібнення полімерних матеріалів. Вісник ДАЛПУ, 1999, № 2.
4. Клепиков Н. С. Расчет движения частиц топлива по размольной лопатке мельницы-вентилятора. / 1 Создание топливо приготавливательного оборудования для теплоэнергетических установок: Труды ЦКТИ. / Центр. котл. теплоэнерг. ин-т. – Л., 1989, Вып. 253. с. 71– 76.

Надійшла 27.10.2006 р.



## ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ БАРВНИКІВ ДЛЯ НАДАННЯ КОМПЛЕКСУ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИМ МАТЕРІАЛАМ

*Відзначенні перспективи використання природних барвників з метою одночасного колорування та надання антимікробних властивостей текстильним матеріалам. Показано, що ряд рослин, потенційно придатних для фарбування текстильних матеріалів, мають антимікробні властивості, обумовлені наявністю в хімічній структурі природних фітонцидів.*

### Вступ

Сучасний екологічний стан навколишнього середовища спонукає представників хімічної, текстильної та інших промисловостей до пошуку, створення та використання екологічно безпечних технологій. Також спостерігається стійка тенденція зросту споживчого попиту на товари, до складу яких входять тільки екологічно чисті компоненти. Для реалізації цього завдання необхідний творчий, неординарний та новаційний підхід у виборі та обґрунтуванні рецептурно-технологічних режимів. Основним завданням в області хімічної технології текстильних матеріалів є надання тканинам певних споживчих властивостей. Пріоритет належить використанню таких технологічних режимів і препаратів, за допомогою яких текстильні матеріали набувають саме комплекс таких властивостей. Одночасно відбувається економія хімічних реагентів, енергетичних ресурсів, а сам процес стає більш екологічним. В ряді найбільш бажаних споживчих властивостей не можна не відмітити антимікробну активність текстильних матеріалів спеціального призначення. Тканини з антимікробними властивостями орієнтовані на виконання таких функцій, як:

- попередження та профілактика захворювань, викликаних патогенними для людей мікроорганізмами;
- захист самих текстильних матеріалів від біологічної деструкції внаслідок дії різноманітних бактерій та грибків.

В накопиченій, на сьогоднішній час, значній базі методів і препаратів з надання текстильним матеріалам антимікробних властивостей, досить цікавим та перспективним є метод одночасного фарбування і надання антимікробних властивостей за рахунок барвників, які мають антимікробну активність [9– 12]. Попередній досвід показав доцільність застосування в цьому напрямку барвників – : прямих похідних саліцилової кислоти, трифенілметанових, акридинових тощо [12]. Та найбільший інтерес викликають синтезовані бактерицидні барвники на основі активних монохлортриазинових та біфункціональних барвників з різними введеними фармакофорними групами, які надають тривалу антимікробну активність пофарбованих текстильних матеріалів, і зберігають показники стійкості забарвлення до фізико-механічних впливів в межах рекомендованих норм [9– 11]. Таким чином, при використанні вищевказаних барвників текстильні матеріали набувають комплекс таких споживчих властивостей, як забарвлення та антимікробну активність.

Однак процес фарбування текстилю синтетичними барвниками, а також їх синтез, що супроводжується утворенням шкідливих побічних продуктів, є екологічно неприйнятним відповідно до високих вимог, які висуває Екотекстиль. Відповідно, упродовж останнього часу значно зріс інтерес до природних барвників рослинного походження [3– 7, 16]. Витіснені з появою синтетичних барвників з текстильної промисловості, природні барвники досить успішно використовуються в харчовій промисловості, що беззаперечно свідчить про їх екологічність та безпечність для здоров'я людей. З урахуванням вищевказаного використання природних барвників рослинного походження для надання забарвлення текстильним матеріалам є досить перспективним напрямком, в подальшому може застосовуватись як альтернативний вид фарбування для певного асортименту спеціального призначення.

### Основний розділ

Зацікавленість природними барвниками знайшла своє відображення в ряді досліджень і публікацій. Основна проблема, з якою зіткнулися дослідники, це відсутність системного вивчення технології використання природних барвних речовин для текстильних матеріалів; існуюча інформація, що дійшла до нашого часу на цю тему носить фрагментальний характер, викликає ряд питань і містить багато протиріччя.

Значний внесок в накопиченні вагомої бази знань про фарбувальну здатність різноманітних рослин та їх використання в текстильному виробництві зроблено групою дослідників Львівської комерційної академії під керівництвом к.т.н., доц. Семака Б.Б. Основна увага в роботі приділена опису рослин, потенційно придатних для фарбування, узагальненню способів і технологій фарбування рослинними барвниками. Обґрунтована можливість отримання широкої гами складних кольорів, при використанні як чистих екстрактів природних барвників рослинного походження, так і за допомогою протрав. Отримані забарвлення характеризуються високими колористичними характеристиками, стійкістю до мокрих обробок, хімчисток. Доведено можливість цілеспрямованої зміни кольорів і відтінків у бажаному напрямі, використовуючи різні види протравлювачів, способу протравлювання та субстрату [3– 7, 16– 19]. На жаль, фарбування природними барвниками не

позбавлено недоліків. Так, вони характеризуються меншою фарбувальною здатністю порівняно з синтетичними барвниками, більш тривалим процесом фарбування, складністю процесу екстрагування. Існує також проблема світлостійкості забарвлень, отриманих при використанні рослинних барвників під час сонячного опромінення та окислення киснем повітря.

Аналізуючи вищезазначені проведенні теоретичні та експериментальні дослідження потрібно, на наш погляд, звернути особливу увагу на такі важливі аспекти:

- більш детально вивчити хімічні властивості рослинних барвників та їх можливість вступати у взаємодію з різними видами текстильних волокон (целюлозних, вовняних, шовкових);
- потрібно також зупинитися на впливові тривалості фарбування, концентрації барвника, температури та рН фарбувальної ванни на отримуваних забарвленнях та їх стійкості до різних видів впливу при експлуатації;
- велику увагу необхідно приділити екстрагуванню фарбувальних речовин (доцільному вибору екстрагенту та умов проведення екстракції), оскільки це відіграє важливу роль в отриманні якісних, інтенсивних і чистих забарвлень;
- підбір оптимального рецептурно-технологічного режиму з урахуванням специфіки субстрату, який використовується.

Таким чином, враховуючи вищезазначене, можна з упевненістю сказати, що використання природних барвників рослинного походження в текстильній промисловості є актуальним дослідженням в багатьох напрямках і заслуговує на подальший розвиток. Метою даної роботи є аналіз інформації та дослідження проблемних питань з надання антимікробних властивостей текстильним матеріалам з одночасним їх фарбуванням природними барвниками рослинного походження, використовуючи різні біологічно активні речовини, які входять до хімічного складу рослин. Як вже зазначалося, фарбування природними барвниками рослинного походження є складним та багатогранним процесом. Специфіка полягає в тому, що на відміну від синтетичних барвників, склад яких достатньо визначений, а саме пігмент та речовини, які утворюють його випускную форму, рослини вміщують у собі цілий хімічний завод. Так, крім речовин, які відносяться до природних барвників (флавоноїди, каротиноїди, хінони, антоціани, катехіни та ін.) до складу рослин входять алкалоїди, терпеноїди, глікозиди, стероїдні та терпенові сапоніни, органічні кислоти, ефірні масла, ліпіди, жири, кумарини, хромони, дубильні речовини, смоли, та ін [2, 8, 14, 13, 20]. Відповідно у фарбувальній ванні присутні суміш кількох барвників та інші одночасно екстраговані супутні речовини. Їх взаємний вплив як на субстрат, так і між собою, призводить як до отримання різноманітних кольорів та відтінків, так і одночасно ускладнює процес фарбування. Слід відмітити, що більшість рослин, які мають фарбувальну здатність, зарекомендовані в фармацевтичній промисловості, як лікарські. Зважаючи на це, доцільно оцінити можливість використання властивостей біологічно активних речовин, які присутні в фарбувально здатних рослинах, а саме використати рослини, як перспективне джерело отримання антимікробних засобів. Про перспективність використання в практиці цього виду біологічної активності свідчить накопичений матеріал у вітчизняній та зарубіжній літературі. Крім того рослинні антимікробні засоби, поєднуючи егіотропну дію по відношенню до збудників інфекцій та позитивний вплив (протизапальний, регенераційний) на організм хворого [2, 8], вигідно відрізняються від синтетичних препаратів, які часто характеризуються обмеженим спектром дії, швидкою адаптацією до них мікроорганізмів, токсичністю, індивідуальною чутливістю людини.

Найбільш виражену антибактеріальну та фунгістатичну активність виявляють ефірні масла, алкалоїди та їх суми, природні фенольні сполуки [2, 8, 14, 20, 21].

Алкалоїди – азотовмісні органічні основи, які зустрічаються у рослинах. Більшість алкалоїдів мають гетероциклічну структуру і тільки у деяких з них атом азоту не входить до циклу [13, 14, 21].

Антимікробні властивості виявляють:

- похідні бензофенатридіну – сума алкалоїди сангвінарин і хелеритрин (містяться в чистотілі, MACLEAYA MICROCARPA та інших рослинах роду маклея і роду бокконію) – затримують розвиток грампозитивних (в тому числі і антибіотикостійких) та грамнегативних бактерій, патогенних грибів [14, 15, 20, 21];
- пептидні сульфурвмісні алкалоїди – алкалоїди NUPHAR LUTEA (L.) SM (нуфлеїн та тіобінуфаридін) – зумовлюють сперміцидну і протистатичну дію, затримують розвиток трихомонад, пригнічують ріст грибів та грампозитивних бактерій; та похідні дітіолану – жеррадіну і кассіпуріну – антибактеріальна активність по відношенню до сальмонел [14, 15, 20, 21];
- були також виявлені фунгістатичні властивості виділених сум алкалоїдів з рутвиці (THALICTRUM), зокрема викликає інтерес алкалоїд берберин хлорид (володіє фарбувальною здатністю) – виявляє вибіркову активність по відношенню до золотистого стафілококу [14, 15, 20, 21].

Ефірні масла є складною сумішшю різних органічних сполук, які з антисептичною метою використовували з давніх часів. Більш детально дослідження антимікробних властивостей відбулося після відкриття феномену фітонцидів. Особливо широке розповсюдження отримали легкі фітонциди алліїн та алліцин. Високою антимікробною та антигрибковою активністю володіють такі масла, як: сандалове, евкаліпту, заманихи, соснове та ін. Взагалі з результатів багатьох досліджень показано, що велика кількість ефірних масел мають інгібуючу дію по відношенню до багатьох патогенних мікроорганізмів, але ступінь активності біологічно активних комплексів коливається в достатньо широких межах [2, 8, 14, 20, 21]. З урахуванням специфічності подальшого використання, найбільший інтерес представляють природні фенольні сполуки (окремі представники є природними барвниками), які широко представлені в хімічному складі рослин. Так,

відомо близько 2000 природних фенольних сполук, серед яких найбільш численні флавоноїди. Широко розповсюдженні також фенолохіноли, лігнани, депсиди, ксантони, багато простих моноциклічних фенолів і поліфенолів [2, 8, 14]. Такі сполуки містять ароматичне кільце з однією або декількома гідроксильними групами та їх похідні. Основну масу рослинних фенольних сполук, враховуючи особливості будови вуглецевого скелету класифікують на: прості феноли (пірокатехін, резорцин, гідрохінон пірогалол, флороглюцин), фенолокислоти, ацетофенони, фенілоцтові кислоти, оксикоричні кислоти, кумарини, ізокумарини, хромони, флавоноїди (флаволи, ізофлаволи, флавонони, флавоноли, антоціаніди, халкони, аурони і т. п.), хінони (бензохінони, нафтохінони, антрахінони). Фенольні ядра входять до складу й інших сполук рослинного походження (стероїдів, алкалоїдів), але за своїм біогенезом, структурі та функціям належать до інших класів сполук [2, 8, 14].

Велика різноманітність фенольних сполук рослинного походження не суперечить спільності їх хімічної будови і подібності властивостей. Система спряжених подвійних та одинарних зв'язків у кільці полегшує делокалізацію електронів і є причиною того, що основна маса рослинних фенолів – барвники та пігменти [2,8,14,20]. Як свідчать літературні джерела вираженою антибіотичною активністю характеризуються прості феноли, здатні до окиснення в хінони – гідрохінон, пірокатехін. Фенолкарбонові кислоти (ферулова, бузкова, ванілінова) беруть участь в захисті рослин від шкідників грибкової природи. Спостерігається антибіотична активність у флавоноїдів, оксикоричних кислот і альдегідів, кумаринів. Доволі високими антимікробними властивостями характеризується галлова кислота (доволі активна по відношенню до золотистого стафілококу), її ефіри., пірогаллат і галлотанін. До нелетких фітонцидів відносять дубильні сполуки, катехіни, антоціани, фенолокислоти. Відмічено антибіотичні характеристики для біологічно активних речовин звіробою звичайного. Широко відомим антивірусним засобом є гопіпол – поліфенол виділений з бавовняника шерстистого та ін [1, 2, 8, 14, 20]. Антимікробну дію фенольних сполук пов'язують з:

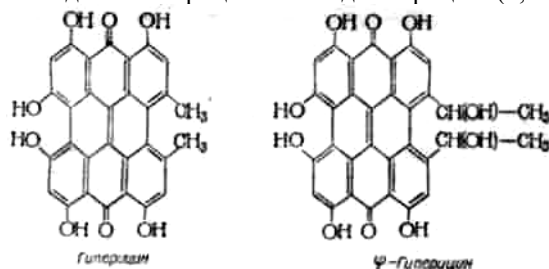
1) формуванням бар'єрів на шляху проникнення патогенних мікроорганізмів; головним чином цю функцію виконують конденсовані полі феноли; .

2) активною антибіотичною дією на патогенні для людей і тварин мікроорганізми.

В багатьох літературних джерелах відмічено, що ряд фенольних сполук рослинного походження (окремі представники чи їх сумарні комплекси) характеризуються як яскраво вираженою антибіотичною та фунгіцидною дією, так і вибіркоким мікроінгібуючим ефектом [1, 2, 8, 14, 20].

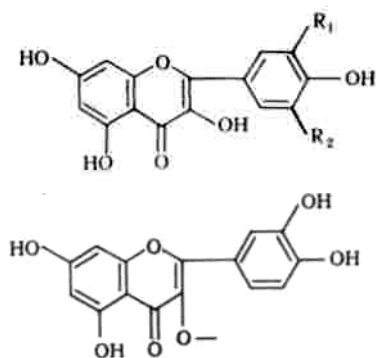
З аналізу існуючої інформації можна зробити висновок, що антибіотичні властивості ряду рослин, рекомендованих для фарбування текстильних матеріалів, обумовлені як наявністю в хімічній структурі природних фітонцидів, так і антимікробними властивостями самих фарбувальних сполук. З цієї позиції, на наш погляд, є цілком доцільним більш детально дослідити фарбувальну та антимікробну властивості звіробою звичайного. Звіробій звичайний (HYPERICUM PERFORATUM L.) – досить поширена багаторічна травяниста рослина. Трава звіробою містить у своєму складі різноманітні біологічно активні сполуки, що зумовлюють різнобічні фармакологічні властивості та відноситься до фарбувальних рослин. До хімічного складу входять:

- конденсовані антраценпохідні – гіперіцин і псевдогіперіцин (0,1-0,5 %), які супроводжуються



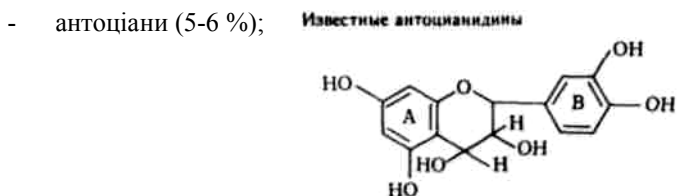
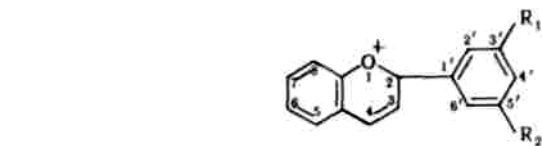
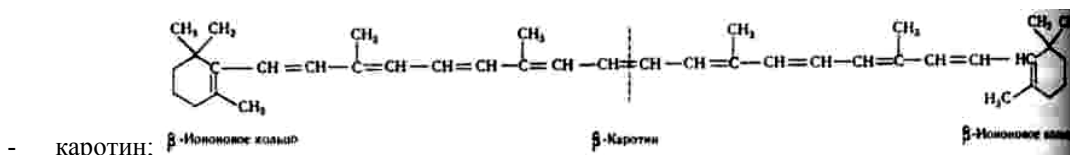
смолянистими речовинами (17 %);

- флавоноїди: у вигляді глікозидів – гіперозид, рутин, кверцитрин; агліконів – кверцетин, ізокверцетин, міріцетин;

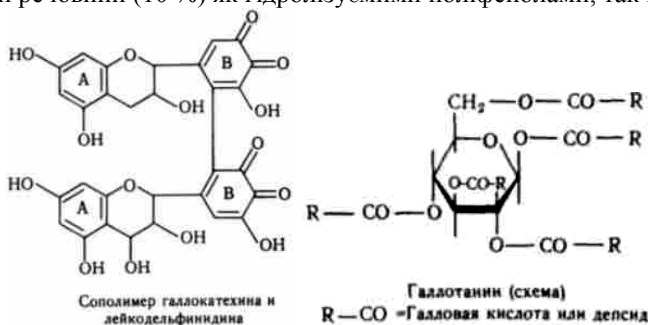


$R_1=R_2=OH$  – міріцетин;  $R_1=OH, R_2=H$  – кверцетин

$R_1$ :  $R$  – глюкоза-О-рамноза – рутин;  
 $R_2$ :  $R$  – галактоза – гіперозид;  $R$  – рамноза – кверцитрин



- лейкоантоціаніди; Лейкоантиндин 3,4,5,7,3',4'-гексоксифлаван  
 - дубильні речовини (10 %) як гідролізуємими поліфенолами, так і конденсованими;



- також до складу звіробою входять ефірні масла, нікотинова та аскорбінові кислоти, вітаміни Р і РР. На присутність сапонінів і слідів алкалоїдів вказують деякі джерела [1, 13, 14, 20].

Як потенційна фарбувальна рослина звіробой заслужує на особливу увагу, оскільки його хімічний склад представлений барвниками, які відносяться до різних груп та відрізняються за своїми хімічними властивостями. Правильно дібрав рецептурно-технологічний режим фарбування, який базуватиметься на основі властивостей наявних барвників, можливо отримувати забарвлення на різних видах текстильних матеріалів. Значний вплив на отримання забарвлення мають дубильні речовини. Фармакологічні властивості звіробою висвітлені в медичній літературі досить широко. Зокрема велика увага приділена дослідженню саме антимікробної активності. Так встановлено високу антибактеріальну здатність ефірних, спиртових, ацетонових та інших екстрактів звіробою. Встановлено, що також дубильні сполуки виявляють антимікробні властивості по відношенню до ряду мікроорганізмів. Високоактивним є водно-лужне витягнення (рН=9,0) відповідно до патогенних бактерій. З ряду комплексних сполук виділені зі звіробою найбільшу антибактеріальну дію виявила фракція фенольних речовин. На основі звіробою отримані, вивчені і впроваджені в медичну практику такі антимікробні препарати, як іманін та новоіманін [1, 14, 20].

### Висновок

Загалом можна зробити висновок, що текстильні матеріали, забарвлені з використанням звіробою, повинні виявляти антимікробні властивості, оскільки ряд сполук, що є природними барвниками, а також супутні речовини виявляють антибіотичну активність. Головним завданням є більш глибоке вивчення властивостей природних барвників звіробою, підбір такої технології екстрагування, екстрагенту та розроблення умов подальшого фарбування, що дозволять отримувати забарвлення з колористичними характеристиками, які відповідають установленим нормам, та одночасно забезпечити антимікробні властивості пофарбованих текстильних матеріалів. Зважаючи на вище зазначене, на наш погляд, доволі перспективним є використання біологічно активних складових рослин в текстильному виробництві з метою надання текстильним матеріалам комплексу споживчих властивостей (забарвлення і антимікробної активності). Подальше вивчення процесу надання текстильним матеріалам комплексу споживчих властивостей використовуючи антибіотичну та фарбувальну здатність природних барвників рослинного походження цього, в подальшому може виступити, як альтернатива методу одночасного фарбування і надання антимікробних властивостей за допомогою синтетичних препаратів для специфічно визначеного асортименту.

### Література

1. Айзенман Б.Е., Дербенцева Н.А. Антимикробные препараты из зверобоя. К.: Наук. думка, 1976. – 173с.

2. Барабой В.А. Биологическое действие растительных фенольных соединений / В.А. Барабой; АН УССР Ин-т физиологии им. Богомольцева – Киев «Наукова думка», 1976. – 206 с.
3. Бартошевич Н.А. Красители из растений // Химия и жизнь. 1987. – № 7. – с. 52-54.
4. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 136 с.
5. Bischof Michael Basic ideas about certification and quality control of natural dyes // Textile forum. 1996. – № 2. – P.19-24.
6. Ветчинкин А.Р. Естественные органические красящие вещества – Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1966 – – 220 с.
7. Gurley Kent. Ecolor. A new star in the sky of industry // Textile forum. 1996. – № 2 – P.32-33.
8. Георгиевский В.П. и др. Биологически активные вещества лекарственных растений / В.П.Георгиевский, Н.Ф. Коммисаренко, С.Е. Дмитриичук. Отв. ред. Т.П. Березовская том. гос. мед. ин-т ВНИИ химии и технологии лекар. ср-в – Новосибирск: Наука Сибир. от-ние, 1990 – 327 с.
9. Гончаренко К.А., Логачева М.Е., Сумская О.П. Синтез и применение активного красителя с антибиотической активностью // Вестник ХГТУ, – 2004. – № 2 (20) – с. 92-954.
10. Добровольська А.В., Сумська О.П Введення фармакофорної групи в структуру активних біфункціональних барвників // Вісник Хмельницького національного університету, – 2005. – № 6. – с 254-256.
11. Добровольська А.В., Сумська О.П Колористичні та антимікробні властивості тканин, забарвлених активними барвниками з введеною фармакофорною групою // Вісник КНУТД, – 2005. – № 5 – с 133-135.
12. Калонтаров И.Я., Ливерант В.Л. Придание текстильным материалам биоцидных свойств и устойчивости к микроорганизмам. – Душанбе: Даниш, 1981. – 202 с.
13. Муравьева Д.А. Фармакогнозия. М «Медицина», 1981 – 656 с.
14. Растительные лекарственные средства / Максютин Н.П., Комиссаренко Н.Ф., Прокопенко А.Д. и др.; под ред. Максютиной – К: Здоров'я, 1985. – 280 с.
15. Садритринов Ф.С., Куртуков А.Т. Фармакология растительных алкалоидов и их применение в медицине. – Ташкент: Медицина, 1980. – 311с.
16. Семак З.М., Семак Б.Б. Фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками: Нав посіб. – Львів: Світ, 2005. – 336 с.
17. Семак Б.Б., Семак З.М. Деякі аспекти теорії та практики фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками // Проб. легк. и текст. пром-ти Украины. – 2000. – № 3 – с 44-68.
18. Семак Б.Б. Застосування натуральних барвників в текстильному виробництві // Легка про-ть. 1997. – № 1. – с. 18.
19. Семак Б.Б. Порівняльна характеристика стійкості забарвлення до мокрих обробок на пофарбованих екстрактами кори дуба і кори крушини вовняних тканин // Проб. легк. и текст. пр-ти Украины № 2 (9) 2004. – с 19-23.
20. Соколов С.Я., Замотав И.П. Справочник по лекарственным растениям. – М: Медицина, 1987. – 173 с.
21. Фармакология растительных веществ [Сборник научных статей]/АН УзССР. Ин-т химии пар-х в-в/ [отв.ред. д.р. мед. наук.проф. М.Б. Султанов] – Ташкент: «Фан», 1976. – 200 с.
22. Хазанов Г.И. Зависимость антимикробной активности текстильных материалов от характера распределения препаратов на волокне // Текст. пром-ть. – 2000. – № 1. – с. 29-30.

Надійшла 20.10.2006 р.

УДК 687:658

Н.В. БЛЕЙ-РУБАН

Мукачівський технологічний інститут

Л.Б. БЛОЦЬКА

Київський національний університет технологій та дизайну

## **МАТЕМАТИЧНО-СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ: ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ**

*Розглядаються задачі необхідності вибору та застосування математично-статистичних методів та проведення їх кількісної оцінки, яка необхідна для прийняття рішення щодо можливості їх використання в задачах управління якістю на етапах розробки, впровадження та функціонування системи.*

Аналіз потреб ринку, визначення показників конкурентоспроможності продукції, обґрунтування технічного рівня продукції, обрахування витрат на якість заставляють багатьох фахівців в галузі управління якістю звертатись до математично-статистичних методів (МСМ). Ці методи стають важливою умовою рентабельного управління якістю, засобом підвищення ефективності виробничих процесів та якості продукції. Крім того, необхідність їх використання в умовах системи управління якістю (СиУЯ) доводять і стандарти ISO 9001: 2000, оскільки підприємства (організації) повинні встановити, збирати та аналізувати відповідні дані, які

необхідні для демонстрації придатності та ефективності системи та оцінки можливості проведення неперервного удосконалення ефективності системи управління якістю.

Виходячи з цього, постає ряд питань, а саме: які МСМ слід використовувати в задачах управління якістю продукції та які заходи і на якому етапі петлі якості потребують їх використання? Відповідь на перше питання частково дає МС ISO 9004-1, так як відомі “інструменти” якості є стандартизованими і рекомендуються для використання в роботах по плануванню необхідного рівня якості систем.

#### Об’єкти та методи дослідження

В умовах функціонування СиУЯ, її удосконалення та створення прогресивних форм управління якістю важливим є формування та постійна актуалізація МСМ, які доцільно використовувати на етапах петлі якості з подальшою оцінкою на їх відповідність конкретній задачі управління.

#### Постановка завдання

Авторами ставилось завдання згрупувати математично-статистичні методи на етапах управління якістю з врахуванням їх особливостей та видів «петлі якості» з розробкою показників якості, які дають можливість провести їх кількісну оцінку.

#### Результати та їх обговорення

Результатом групування МСМ є представлена табл. 1, яка являє собою матрицю, що зв’язує сучасні МСМ з етапами петлі якості та етапами розгортання діяльності по управлінню якістю. Розроблені показники якості, що дають можливість провести кількісну оцінку МСМ, представлено на рис. 1.

Таблиця 1

Математико-статистичні методи та їх використання на етапах петлі якості

Етапи управління якістю та статистичні методи	Етапи петлі якості							Вид статистичних методів
	Маркетинг та вивчення ринку	Проектування та розробка продукції	Проектування та розробка виробничих процесів	Закупка та тех. постачання комплектуючих	Виробництво	Контроль, випробування, упаковка, зберігання	Реалізація та розподіл продукції	
I. Розгортання функції якості 1.1. Вибір показників якості продукції та їх комплексна оцінка	+	+	+	+	+			Статистичний метод оцінки якості продукції
II. Розробка якісних процесів та виробів 2.1. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави	+	+	+	+	+		+	Статистичне регулювання технологічних процесів
2.2. Діаграма Парето	+	+	+		+		+	
2.3. Контрольні аркуші за кількісною ознакою		+	+		+	+		
2.4. Контрольні карти за кількісною та якісною ознаками		+	+		+	+		
2.5. Діаграма розсіювання			+		+	+		
2.6. Гістограма (графік)					+	+		
2.7. Діаграма розшарування					+	+		
2.8. Метод розрахунку експерименту (багатофакторний аналіз)		+	+			+		Статистичний приймальний контроль якості
III. Управління технологічними процесами 3.1. Оцінка дефектності партії виробів по виборці – методи визначення вхідного та вихідного рівня дефектності		+		+	+	+	+	
3.2. Статистичний вибірковий контроль		+	+	+	+		+	
3.3. Методи Тагучі			+		+			Статистичний аналіз організаційно-технічної системи – підприємства
III. Удосконалення процесу управління якістю 4.1. Системний аналіз та синтез – методи організаційно-технічного моделювання якості	+	+	+	+	+	+	+	
4.2. Статистичний аналіз – методи отримання моделей якості	+	+	+	+	+	+	+	

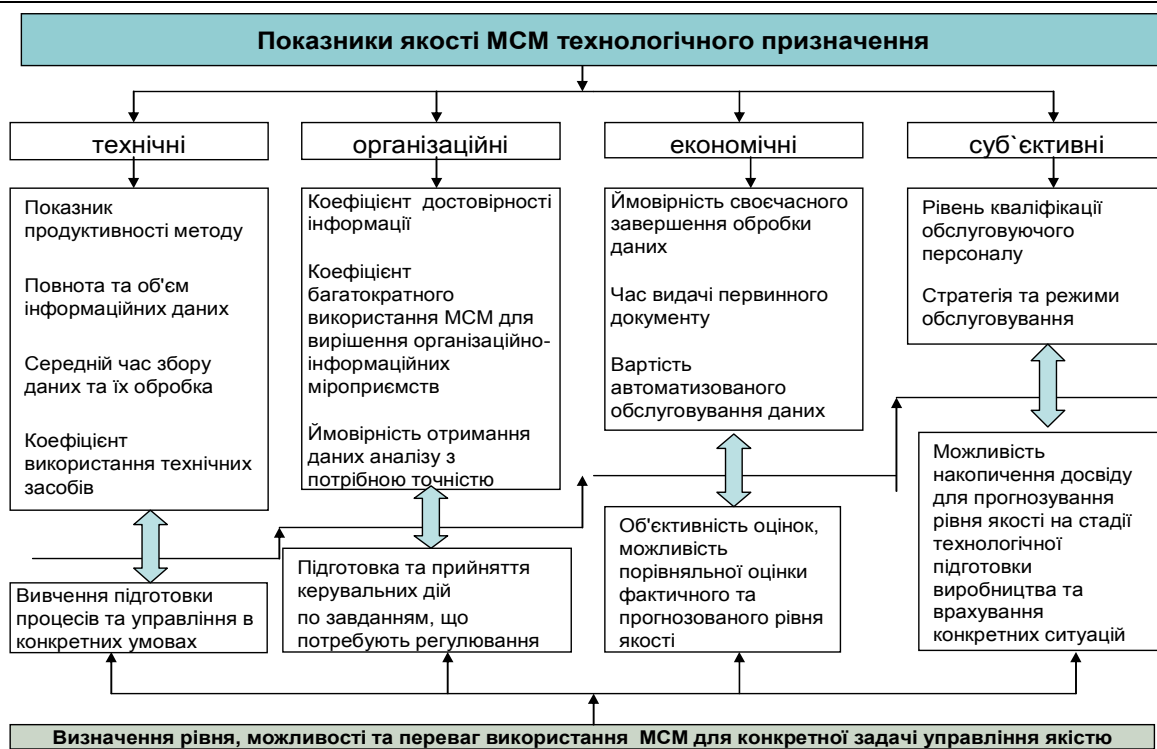


Рис. 1. Показники якості МСМ з врахуванням їх переваг для конкретних задач управління якістю

Вибір МСМ для конкретних задач управління потрібно розглядати як можливість організаційно-технічного аналізу якості в інтегрованій складній системі (підприємство), яка складається із нормативної (стандарти), інформативної, механіко-технологічної (обладнання, процеси) та фізичної (метрологічні методи, засоби випробувань та контролю якості одиничних показників) складових.

При виборі МСМ в СиУЯ потрібно виділяти інформаційно-організаційні, техніко-економічні та суб'єктивні аспекти.

В якості першого загального принципу вибору МСМ доцільно взяти за основу цінність даних як показник користі та можливості використання інформації, отриманої даним методом. Цінність даних можна визначити наступними чинниками: трудомісткістю отримання даних, гарантованою достовірністю отриманих даних, їх повнотою та своєчасністю, оптимальною формою представлення та можливістю автоматизованої обробки даних.

Оскільки кожний із статистичних методів має особливості, а також переваги щодо можливостей використання на різних етапах петлі якості, доцільним є розробка показників якості, які дають можливість провести їх кількісну оцінку [1]. Ці показники представлені на рис. 1.

Під оцінкою МСМ слід розуміти кількісну оцінку, яка необхідна для прийняття рішення щодо можливості його використання для конкретної задачі управління якістю на етапах розробки, впровадження та функціонування системи.

Показник оцінки рівня МСМ, який доцільно виразити в балах, можна отримати в результаті визначення показників технічного ( $R_T$ ), організаційного ( $R_{Op}$ ), економічного ( $R_{Ek}$ ) рівнів та рівня використання людських ресурсів ( $R_{влр}$ ).

Виходячи з цього показник рівня МСМ можна визначити за формулою 1:

$$R_{МСМ} = R_T \cdot k_T + R_{Op} \cdot k_{Op} + R_{Ek} \cdot k_{Ek} + R_{влр} \cdot k_{влр} \quad (1)$$

де  $k_T, k_{Op}, k_{Ek}, k_{влр}$  - коефіцієнти вагомості показників технічного, організаційного, економічного рівнів та рівня використання людських ресурсів відповідно, які доцільно визначити експертним шляхом.

Технічний показник рівня МСМ  $R_T$  можна визначити за формулою (2):

$$R_m = \sum P_i \cdot R_i \quad (2)$$

де  $P_i$  – коефіцієнти вагомості одиничних показників технічного рівня, визначені методом експертних оцінок;

$R_i$  – одиничні показники технічного рівня, для яких потрібне формування шкали відносних оцінок, залежно від типів технічного процесу.

Економічний показник рівня МСМ  $R_{Ek}$  можна визначити за формулою 3.

$$R_{Ek} = \frac{T_m}{T} \quad (3)$$

де  $T_m$  – мінімально-можливий термін використання МСМ (до моменту отримання перших позитивних

оцінок щодо рівня СиУЯ);

$T$  – термін використання вибраного МСМ, при якому забезпечиться оптимальний рівень СиУЯ.

Організаційний показник рівня МСМ  $R_{op}$  визначається за формулою 4.

$$R_{op} = \frac{N_1}{N_2} \quad (4)$$

де  $N_1$  – кількість (число) задач, які вирішуються вибраним методом;

$N_2$  – кількість (число) задач, які принципово можна вирішувати в системі.

Показник рівня використання людських ресурсів можна визначити за формулою 5.

$$R_{впр} = 1 - K_1; \quad (5)$$

де  $K_1 = \frac{M_{ПП1}}{M_{ПП2}}$  – коефіцієнт продуктивності праці при використанні МСМ.

$M_{ПП1}$  – продуктивність в умовах використання МСМ;

$M_{ПП2}$  – продуктивність до використання МСМ.

#### Висновки

Загальне призначення оцінки рівня МСМ заключається у визначенні відповідності показників організаційно-технічної системі, яка оцінюється та аналізується, з метою усунення, попередження небажаних невідповідностей та прогнозування рівня якості самої системи. Також, визначення значень складових оцінки дозволяє оцінити перспективи та потенційні можливості використання вибраного методу в задачах управління якістю, при цьому потребується уточнення показників якості з врахуванням специфіки та особливостей визначених задач, переважаючих характеристик і параметрів організаційно-технічних процесів, наявних в системі.

Отже, керувальні дії, які направлені на підвищення якості продукції, можна сформулювати на основі інформаційних даних, отриманих за допомогою МСМ по кожному об'єкту, а також на основі аналізу документів і отримати дані про фактичний рівень якості та визначити потреби і можливості виробництва. Математично-статистична основа аналізу функцій та процедур управління якістю, своєчасність її інформаційного забезпечення може визначити оцінку рівня СиУЯ.

#### Література

1. Гиссин В.И. Управление качеством продукции: Учебн. пособие. – Ростов на Дону, 2000.

Надійшла 8.10.2006 р.

УДК 539.3

С.В. МАТНЯК

Хмельницький національний університет

### ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ И ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОСЕ С НАЧАЛЬНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

*Рассмотрено решение контактной задачи для полосы с начальными напряжениями. Выведены коэффициенты упругости для различных упругих потенциалов. Были использованы однородное интегральное уравнение Фредгольма и коэффициенты упругости  $B_4^2$ . Найдено распределение нормального и тангенциального давления на нижней поверхности полосы, а также размер участка контакта.*

**1. Постановка задачи.** Рассматривается качение жесткого цилиндра по полосе с начальными напряжениями. В настоящей работе допускается, что участок контакта состоит с одного участка сцепления и двух участков скольжения. Процесс качения считается стационарным. Линия контакта считается небольшой в сравнении с линейными размерами тел и контактирующие тела считаются гладкими. Схема качения цилиндра показана на рис. 1. На цилиндр действует момент  $M$ , вертикальная сила  $P$  и тангенциальная сила  $T^*$ . Сила  $T^*$  равна и направлена противоположно реализующей силе тяги  $T_1$ , которая действует на ободу основания и направлена в сторону движения цилиндра. На цилиндр действует также нормальная реакция основания  $P_1 = P$ . Обозначим границы линии контакта через  $a$  и  $d$ . Поскольку длина линии контакта мала в сравнении с линейными размерами тел, то граничные условия можно задать вдоль прямой  $z_1 = 0$ , а тела, которые рассматриваемо заменим двумя полуплоскостями.

**2. Решение задачи.** Полоса не жестко соединена с не деформированным основанием. На всей прямой  $K_1$  заданы касательные (тангенциальные) напряжения, на  $\varpi$  заданы нормальные перемещения, а на



$\varpi^*$  – нормальные напряжения.

Указанную задачу рассматриваем в условиях плоской деформации.

Данная задача II описывается уравнением Ламе [2]:

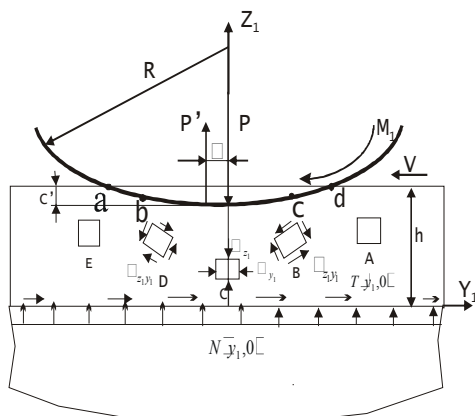


Рис. 1. Схема качения цилиндра

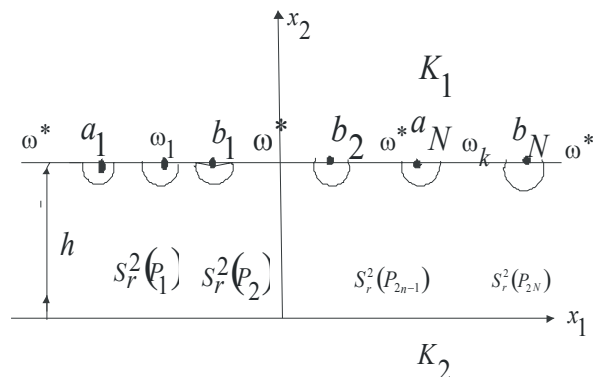


Рис. 2. Математическая схема нагружения полосы S

$$\Delta u_t + K\theta_{xt} = F_t; \theta = u_{xt}; t = 1, 2; K = \frac{1}{1-2\nu}; \quad (1)$$

к которым добавляется граничные условия

$$u_t = 0, t = 1, 2, \quad \text{на} \quad K_2, \quad (2)$$

$$u_{2x_1} + u_{1x_2} = f_1(x_1) \quad \text{на} \quad K_1, \quad (3)$$

$$u_2 = f_2(x_1) \quad \text{на} \quad \varpi, \quad (4)$$

$$(K-1)u_{1x_1} + (K+1)u_{2x_2} = f_3(x_1) \quad \text{на} \quad \varpi^* \quad (5)$$

Чтобы окончательно замкнуть постановку краевой задачи необходимо оговорить условия на бесконечности и в точках  $a_k, b_k$ .

Обычно в качестве таковых используются условия, характеризующие определенный порядок изменения напряжений и перемещений на бесконечности и в точках  $a_k, b_k$ . Эти условия носят искусственный характер и дискутируются лишь чисто математическими соображениями. Более естественным является, на наш взгляд, условие конечности потенциальной энергии деформации полосы. Указанная энергия аккумулируется в полосе за счет работы внешних сил, которую естественно всегда считать конечной. Таким образом, решение каждой из сформулированных задач следует искать в классе вектор функций  $\vec{a}(u_1, u_2)$ , удовлетворяющих условию

$$\Phi_s(a) = \int_s \Pi_s ds < \infty; \Pi_s = (K-1)\theta^2 + 2 \sum_{t=1}^2 u_{tx_t}^2 + (u_{1x_2} + u_{2x_2})^2. \quad (6)$$

Условие (6) вполне замыкает постановку задачи. Вместе с этим определяется точно и поведение решений при  $|x_1| \rightarrow \infty$ , а также в точках  $a_k, b_k$ .

Интегральные уравнения для задачи II будет получено при следующих условиях:

- 1) массовые силы  $\vec{F} = 0$ ,
- 2) поверхностные касательные напряжения на  $K_2$   $f_1 \equiv 0$ ,
- 3) поверхностные нормальные напряжения на  $\varpi^*$   $f_3 = 0$ ,
- 4)  $f_2(x_1) \in B_{k\varpi}^{\mu}$ ;  $k \geq 2$ ;  $\varpi > 0$ .

В этом случае на основе теоремы 7.1 (ст. 88 [2]) заключаем, что всюду, кроме особых точек  $P_k$ , где происходит смена граничных условий, обобщенное решение задачи II имеет непрерывные производные вплоть до 2-го порядка. В окрестности же каждой точки  $P_k$  на основе теоремы 10.2 (ст. 142 [2]) имеем

$$|\sigma_0| \leq m_k \cdot r_k^{-\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

где  $r_k$  – расстояние до соответствующей точки  $P_k$ .

Построим теперь последовательность полукругов  $S_r^2(P_k)$  (рис. 2). Легко видеть, что если вектор – функция  $\varphi \in H_{2s}$ , то в области  $\pi_r$ , полученной из  $S$  удалением всех полукругов  $S_r(P_k)$ , будем иметь

$$\int_{\pi_r} [(K-1) \cdot (u_1 \cdot x_1 + u_2 \cdot x_2) \cdot (\varphi_{1x_1} + \varphi_{2x_2}) + 2 \cdot (u_{1x_1} \cdot \varphi_{1x_1} + u_{2x_2} \cdot \varphi_{2x_2}) + (u_{1x_2} + u_{2x_1}) \cdot (\varphi_{1x_2} + \varphi_{2x_1})] \cdot ds =$$

$$= - \sum_{k=1}^n \int_{a_k+r}^{b_k-r} \varphi_2(x_1) \cdot q(x_1) \cdot dx_1 \cdot \frac{3K-1}{\varepsilon \cdot K} + \sum_{k=10}^N \int_0^\pi [\sigma_{rk} \cdot \varphi_{rk} + \tau_{r\theta k} \cdot \varphi_{\theta k}] \cdot r_k \cdot d\theta. \quad (8)$$

В правой части (8)  $q$  – контактное давление на  $\omega$ , равно  $-\sigma_0$ ,  $\sigma_{rk}, \tau_{r\theta k}$  – касательное и нормальное напряжение на полукружностях, ограничивающих  $S_{r2}(P_k)$ ,  $\varphi_{rk}, \varphi_{\theta k}$  – радиальная и тангенциальная составляющие вектор-функции  $\varphi$  на указанных окружностях. Формула (8) получается применением традиционного метода интегрирования по частям. Совершим теперь в (8) предельный переход  $r \rightarrow 0$ . В силу (7) и теоремы 10.2 из (8) получаем

$$(\bar{a} \cdot \bar{\varphi})_{H_{1s}} = - \frac{3K-1}{\varepsilon \cdot K} \int_{\omega} q(x_1) \cdot \varphi_2(x_1) dx_1 \quad (9)$$

Поскольку  $\bar{\varphi}$  – производительный вектор из  $H_{1s}$ , то соотношение (9) показывает, что справедлива лемма 12.1 (ст.151[2]). Пусть выполнены условия 1)-4) и  $\bar{a}$  есть решение задачи 1, а  $q$  – давление на  $\omega$ , которое соответствует этому решению. В этом случае решение задачи 1, построенное по данному давлению  $q$ , совпадает с  $\bar{a}$ .

Далее, легко видеть, что при выполнении условий 1)-4) в задаче 1 имеет место соотношение

$$\int_{\omega} K_1 \left( \frac{x_1 - \xi_1}{h} \right) \cdot q(\xi_1) \cdot d\xi_1 = -2\pi \Delta f_2(x_1) \quad (10)$$

Решение уравнения (10) будем искать в виде следующего ряда:

$$q(x) = \sum_{k=0}^{\infty} q_k(x) \cdot \lambda^{-2k}. \quad (11)$$

Подставляя выражение (11) и разложение  $F(t) = \sum_{i=0}^{\infty} d_i t^{2i}$  в уравнение

$$q(x) = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{a^2 - x^2}} \left[ P - \Delta \int_{-a}^a \frac{f'(t) \cdot \sqrt{a^2 - t^2}}{t - x} dt + \frac{1}{\pi \cdot h} \int_{-a}^a \frac{\sqrt{a^2 - t^2}}{t - x} dt \int_{-a}^a q(\xi) F' \left( \frac{\xi - t}{h} \right) d\xi \right],$$

и приравнявая члены правой и левой части при одинаковых степенях  $\lambda^{-2}$ , получим бесконечную систему соотношений для последовательного определения функций  $q_k(x)$ :

$$q_0(x) = q^{(0)}(x),$$

$$q_1(x) = \frac{2 \cdot d_1}{\pi^2 \cdot \sqrt{a^2 - x^2}} \int_{-a}^a \frac{\sqrt{a^2 - x^2}}{t - x} dt \int_{-a}^a q_0(x) (t - \xi) d\xi,$$

$$q_2(x) = \frac{2}{\pi^2 \sqrt{a^2 - x^2}} \int_{-a}^a \frac{\sqrt{a^2 - t^2}}{t - x} dt \int_{-a}^a [2 \cdot d_2 (t - \xi)^2 q_0(\xi) + d_1 \cdot (t - \xi) q_1(\xi)] d\xi, \quad (12)$$

и т.д.

Используя интеграл

$$\int_{-1}^1 \frac{\xi^m d\xi}{(\xi - x) \cdot \sqrt{1 - \xi^2}} = \begin{cases} 0; & m = 0; \\ \pi \cdot P_n(x); & m = 2n + 1; \\ \pi \cdot x \cdot P_n(x); & m = 2n + 2, \end{cases}$$

определим последовательно из соотношений (12) функции  $q_0(x), q_1(x), q_2(x)$  и представим асимптотическое при больших  $\lambda$  решение интегрального уравнения (11) в соответствии с формулой (10) с точностью до членов

порядка  $\lambda^{-6}$  в виде:

$$q(x) = \frac{P}{\pi \cdot \sqrt{a^2 - x^2}} \left[ 1 - \frac{2 \cdot d_1}{\lambda^2} \cdot \left( \frac{1 - x^2}{2} - \frac{x^2}{a^2} \right) - \frac{4 \cdot d_2}{\lambda^4} \cdot \left( \frac{7}{8} - \frac{x^2}{a^2} - \frac{x^4}{a^4} \right) \right] - \frac{\Delta}{\pi \cdot \sqrt{a^2 - x^2}} \int_{-a}^a \sqrt{a^2 - t^2} \cdot f'(t) \cdot \left\{ \frac{1}{t - x} + \frac{2 \cdot d_1 \cdot x}{h^2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{h^4} \left[ 2 \cdot d_2 \cdot (6 \cdot x^3 - 6 \cdot x^2 \cdot t + 4xt^2 - 3ta^2) - 2 \cdot a_1^2 \cdot x \cdot a^2 \right] \right\} dt + O\left(\frac{1}{\lambda^4}\right). \quad (13)$$

Теперь по формуле

$$P = \frac{1}{\ln 2\lambda} \cdot \left[ \Delta \int_{-a}^a \frac{f(t) \cdot dt}{\sqrt{a^2 - t^2}} - \frac{1}{\pi} \int_{-a}^a \frac{dt}{\sqrt{a^2 - t^2}} \int_{-a}^a q(\xi) F\left(\frac{\xi - x}{h}\right) d\xi \right]; \quad |x| \leq a, \quad (14)$$

получим асимптотическое при больших  $\lambda$  представление для силы  $P$ , действующей на штамп.

$$P = \left[ \ln 2\lambda - d_0 - \frac{d_1}{\lambda^2} - \frac{d_1^2}{4\lambda^2} - \frac{9d_2}{4 \cdot \lambda^4} + O(\lambda^{-6}) \right]^{-1} \cdot \left[ \Delta \int_{-a}^a \frac{f(t) \cdot dt}{\sqrt{a^2 - t^2}} + \frac{\Delta}{h^2} \cdot \int_{-a}^a \sqrt{a^2 - t^2} \cdot f'(t) \left( d_1 + \frac{d_2 t^2}{h^2} + \frac{7d_2}{2 \cdot \lambda^2} \right) dt + O(\lambda^{-6}) \right]. \quad (15)$$

Интегрируя (13), найдем по формуле

$$\int_{\omega_n} q_k(x_1) \cdot x_1 \cdot dx_1 = \mu_k \quad (16)$$

действующий на штамп момент  $M$ :

$$M = \Delta \int_{-\phi}^{\phi} \sqrt{a^2 - t^2} \cdot f'(t) \cdot \left[ 1 - \frac{d_1}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda^4} \cdot \left( \frac{5}{2} \cdot d_2 - d_1^2 \right) - \frac{2 \cdot d_2 \cdot t^2}{\lambda^4 \cdot a^2} \right] dt + O(\lambda^{-6}). \quad (17)$$

Проинтегрировав выражение (15) и (17) и выражение

$$\int_{-\phi}^{\phi} \frac{f'(t + \delta) \cdot dt}{\sqrt{a^2 - t^2}} = 0,$$

получим систему нелинейных уравнений

$$\begin{cases} P = \left[ \ln 2\lambda - d_0 - \frac{d_1}{\lambda^2} - \frac{d_1^2}{4 \cdot \lambda^2} - \frac{9 \cdot d_2}{4 \cdot \lambda^4} \right]^{-1} \cdot \left[ \Delta \cdot \left( -\pi\beta \cdot a - \frac{\pi \cdot a^2}{2 \cdot R} - \frac{a^2}{2 \cdot R^2} - \frac{\pi \cdot a^2}{4 \cdot R^2} \right) + \frac{\Delta}{h^2} \cdot \left( -\frac{d_2 \cdot a^6}{6 \cdot h^2 \cdot R} - \frac{21 \cdot \pi \cdot a^4 \cdot d_2}{16 \cdot \lambda^2 \cdot R} \right) \right]; \\ M = \Delta \cdot \left[ \beta \cdot \frac{\pi \cdot a}{2} - \frac{\pi \cdot \beta \cdot a \cdot d_1}{2 \cdot \lambda^2} - \frac{\beta}{\lambda^4} \cdot \left( \frac{5}{2} \cdot d_2 - d_1^2 \right) \cdot \frac{\pi \cdot a}{2} - \frac{2 \cdot \beta \cdot d_2}{a^2 \cdot \lambda^4} \right]; \\ \Delta \left( \beta \cdot \pi - \frac{\delta \cdot \pi}{R} \right) = 0. \end{cases} \quad (18)$$

где  $\Delta = G = B_4^2$  – коэффициент упругости,  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $d_0 = 0,352$ ,  $d_1 = -0,521$ ,  $d_2 = 0,135$ ,  $d_3 = -0,0346$ ,  $d_4 = 0,00863$ ,  $\lambda = \frac{h}{a}$ ,  $x = 3 - 4 \cdot \nu$ .

Обозначим через  $N^*(y_1)$  нормальное и через  $T^*(y_1)$  тангенциальное напряжение в полосе с начальными напряжениями и запишем:

$$N^*(y_1) = \left[ \ln 2\lambda - d_0 - \frac{d_1}{\lambda^2} - \frac{d_1^2}{4 \cdot \lambda^2} - \frac{9 \cdot d_2}{4 \cdot \lambda^4} \right]^{-1} \cdot \left[ \Delta \cdot \left( -\pi\beta \cdot y_1 - \frac{\pi \cdot y_1^2}{2 \cdot R} - \frac{y_1^2}{2 \cdot R^2} - \frac{\pi \cdot y_1^2}{4 \cdot R^2} \right) + \frac{\Delta}{h^2} \cdot \left( -\frac{d_2 \cdot y_1^6}{6 \cdot h^2 \cdot R} - \frac{21 \cdot \pi \cdot y_1^4 \cdot d_2}{16 \cdot \lambda^2 \cdot R} \right) \right]; \\ T^*(y_1) = k \cdot N^*(y_1); \quad k = \mu \cdot \left( 1 - \frac{d}{c} \right), \text{ где } \mu \text{ – коэффициент трения Кулона.}$$

Коэффициент упругости  $B_4^2$  для различных потенциалов соответственно равен [ 4 ]:

1) для потенциала гармонического типа;

$$\lambda = \frac{E \cdot \nu}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}, \quad \nu = 0,3, \\ B_4^2 = \frac{(\lambda + \mu) \cdot (\lambda_1 - 1) + \mu \cdot \lambda_1 \cdot (2 \cdot \lambda_1 - 1)}{2 \cdot \mu \cdot (\lambda + \mu) \cdot (2 \cdot \lambda_1 - 1)}, \quad (19)$$

2) для потенциалов типа (1.46), (1.67):

$$\sigma_{11}^0 = 2 \cdot \mu \cdot (\lambda_1 - \lambda_2),$$

$$B_4^2 = \frac{4 \cdot \mu^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\lambda + 2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0} \cdot \sqrt{\mu + \sigma_{11}^0} \cdot (2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0) - 8 \cdot \mu^2 \cdot \sqrt{\lambda + 2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0} \cdot (\mu + \sigma_{11}^0) + (\mu + \sigma_{11}^0) \cdot \left( (\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot (2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0)^2 \cdot (2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0)^2 - 16 \cdot \mu^2 \cdot (\lambda + 2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0) \right) + (2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0) \cdot \sqrt{\lambda + 2 \cdot \mu} \cdot (2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0)^2 - 2 \cdot \sqrt{\mu} \cdot \sqrt{\mu + \sigma_{11}^0} \cdot \sqrt{\lambda + 2 \cdot \mu} \cdot (2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0)^2}{1} \cdot (\sqrt{\lambda + 2 \cdot \mu})$$

3) для потенциала Трелоара (тело неогукковского типа):

$$B_4^2 = \frac{\left( 4 \cdot \lambda_2^2 \cdot (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) + 8 \cdot \lambda_2^3 \cdot \lambda_1 + \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1^2 + \lambda_2^2)^2 + (\lambda_1^2 + \lambda_2^2)^3 \right) \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2}{2 \cdot C_{10} \cdot \left( (\lambda_1 + \lambda_2)^3 - 16 \cdot \lambda_2^6 \cdot \lambda_1^2 \right)}; \quad (20)$$

4) для второго варианта теории малых начальных деформаций:

$$B_4^2 = \frac{4 \cdot \mu^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\mu + \sigma_{11}^0} - 8 \cdot \mu^2 \cdot (\mu + \sigma_{11}^0) + (2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0)^3 - 2 \cdot \sqrt{\mu} \cdot \sqrt{\mu + \sigma_{11}^0} \cdot (2 \cdot \mu + \sigma_{11}^0)^2}{1 - 16 \cdot \mu^3 \cdot (\mu + \sigma_{11}^0)}$$

5) для потенциала Бартенева–Хазановича:

$$B_4^2 = \frac{2 \cdot \sqrt{\lambda_2} \cdot (\lambda_1^2 - \lambda_2^2) - \sqrt{\lambda_1} \cdot (3 \cdot \lambda_1 - \lambda_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2) + 4 \cdot \sqrt{\lambda_1} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2) \cdot \lambda_1 - 2 \cdot \mu \cdot \sqrt{\lambda_2} \cdot (-16 \cdot \lambda_1 - 4 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)^2)}{2 \cdot \mu \cdot \sqrt{\lambda_2} \cdot (-16 \cdot \lambda_1 - 4 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)^2)}, \quad (21)$$

$$\frac{-4 \cdot \lambda_1^2 \cdot (3 \cdot \lambda_1 - \lambda_2)}{\times 1}$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  – коэффициенты удлинения,  $\mu$  и  $\lambda$  – коэффициенты Ламе:

$$C_{10} = \frac{E}{6}; \quad \sigma_{11}^0 = 2 \cdot \mu \cdot (\lambda_1 - \lambda_2); \quad \lambda = \frac{E \cdot \nu}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)};$$

$$\mu = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}; \quad \Theta_2 = 2 \cdot (1 - \nu_2^2) / (\pi \cdot E_2); \quad (22)$$

где  $E$  – модуль Юнга. Для плоской задачи для корней  $n_1 = n_2$ :

$$\lambda_2 = \frac{2 \cdot \mu - \lambda \cdot \lambda_1 + 2 \cdot \lambda}{\lambda + 2 \cdot \mu}, \quad \lambda_3 = 1.$$

и для корней  $n_1 \neq n_2$ :

$$\lambda_1 \cdot \lambda_2 = 1; \quad \lambda_3 = 1. \quad (23)$$

С системы нелинейных уравнений (18) находим неизвестные значения величин  $a, \beta, \delta$ .

Зная величину  $a$  находим величину участка контакта, которая равняется  $\bar{c} = 2 \cdot a$ .

Определяем нормальное и тангенциальное давление на полосу при  $z_1 = 0$ .

Для этого найдем математическое ожидание от функций нормального давления на верхней стороне полосы при  $z_1 = h$ :

$$M(y_1) = \int_{-a}^a y_1' \cdot P(y_1) dy_1 = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot a^2} \int_{-a}^a y_1 \cdot \sqrt{a^2 - (y_1 - \delta)^2} \cdot dy_1 = \left. \begin{matrix} y_1' = y_1 - \delta \\ dy_1' = dy_1 \\ y_1 = y_1' + \delta \end{matrix} \right| =$$

$$= \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot a^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (y_1' + \delta) \cdot \sqrt{a^2 - y_1'^2} \cdot dy_1' = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot a^2} \cdot \left[ -\frac{1}{2} \cdot \int_{-a}^a \sqrt{a^2 - y_1'^2} \cdot d(a^2 - y_1'^2) + \right.$$

$$\left. + \delta \cdot a \cdot \int_{-a}^a \sqrt{1 - \frac{y_1'^2}{a^2}} \cdot dy_1' \right] = P \cdot \delta.$$

Находим дисперсию от функции нормального давления на верхней стороне полосы:

$$\begin{aligned}
D(y_1) &= \int_{-a}^a y_1^2 \cdot P(y_1) dy_1 = \frac{2 \cdot P}{a^2} \cdot \int_{-a}^a y_1^2 \cdot \sqrt{a^2 - (y_1 - \delta)^2} \cdot dy_1 = \left. \begin{matrix} y_1' = y_1 - \delta; \\ dy_1' = dy_1, \end{matrix} \right| = \\
&= \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot a} \int_{-a}^a (y_1' + \delta)^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{(y_1')^2}{a^2}} \cdot dy_1 = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot a} \cdot \int_{-a}^a (y_1'^2 + 2 \cdot y_1' \cdot \delta + \delta^2) \cdot \sqrt{1 - \frac{(y_1')^2}{a^2}} \cdot dy_1' = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot a} \times \\
&\times \left[ \int_{-a}^a y_1'^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{(y_1')^2}{a^2}} \cdot dy_1' + 2 \cdot \delta \cdot \int_{-a}^a y_1' \cdot \sqrt{1 - \frac{(y_1')^2}{a^2}} \cdot dy_1' + \delta^2 \cdot \int_{-a}^a \sqrt{1 - \frac{(y_1')^2}{a^2}} \cdot dy_1' \right] = \\
&= P \cdot \left[ \frac{a^2}{4} + 2 \cdot \delta + \delta^2 \right].
\end{aligned}$$

Среднее квадратичное отклонение находим с дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{D(y_1)} = \sqrt{P \cdot \left( \frac{a^2}{4} + 2 \cdot \delta + \delta^2 \right)}.$$

Поэтому дифференциальная функция нормального распределения будет иметь вид:

$$f(y_1) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(y_1 - \delta)^2}{2 \cdot \sigma^2}};$$

где

$$\sigma = \frac{a}{2} \cdot \sqrt{P \cdot \left( \frac{a^2}{4} + 2 \cdot \delta + \delta^2 \right)}; \quad a = M(y_1) = P \cdot \delta.$$

Тогда нормальное распределение нормального давления под полосой будет иметь вид:

$$P(y_1) = \frac{P}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(y_1 - a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right). \quad (25)$$

Тангенциальное давление на нижней части полосы имеет вид:

$$g(y_1) = \mu \cdot P(y_1) - \frac{c}{a} \cdot \mu \cdot P(y_1), \quad \text{де} \quad P(y_1) = \frac{P}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(y_1 - \delta)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right);$$

$$g(y_1) = \left( \mu - \frac{c}{a} \cdot \mu \right) \cdot P(y_1) = \left( \mu - \frac{c}{a} \cdot \mu \right) \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(y_1 - \delta)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right);$$

$$M(y_1) = \int_{-\infty}^{\infty} y_1 \left( \mu - \frac{c}{a} \cdot \mu \right) \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(y_1 - a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right) \cdot dy_1 = \left( \mu - \frac{c}{a} \cdot \mu \right) \cdot P \cdot \delta.$$

Находим дисперсию

$$D(y_1) = \int_{-\infty}^{\infty} (y_1 + \delta) \cdot \left( \mu - \frac{c}{a} \cdot \mu \right) \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(y_1 - a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right) \cdot dy_1 = \left( \mu - \frac{c}{a} \cdot \mu \right) \cdot P \cdot \left( \frac{a^2}{4} + 2 \cdot \delta + \delta^2 \right).$$

Находим среднее квадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{D(y_1)} = \sqrt{\left(\mu - \frac{c}{a} \cdot \mu\right) \cdot P \cdot \left(\frac{a^2}{4} + 2 \cdot \delta + \delta^2\right)}$$

Тогда

$$f(y_1) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(y_1-a)^2}{2 \cdot \sigma^2}},$$

где

$$\sigma = \sqrt{\left(\mu - \frac{c}{a} \cdot \mu\right) \cdot P \cdot \left(\frac{a^2}{4} + 2 \cdot \delta + \delta^2\right)}$$

Поэтому тангенциальное давление на нижней стороне полосы будет иметь вид

$$T(y_1) = \frac{P}{\pi} \cdot \mu \left(1 - \frac{c}{a} \cdot \mu\right) \cdot f(y_1) = \frac{P}{\pi} \cdot \mu \cdot \left(1 - \frac{c}{a}\right) \cdot \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(y_1-a)^2}{2 \cdot \sigma^2}}. \quad (26)$$

**3. Численные результаты.** Проведены численные расчеты и определены нормальные и тангенциальные напряжения в зоне контакта полосы и жесткого основания и построены их графики для потенциала Бартенева-Хазановича:

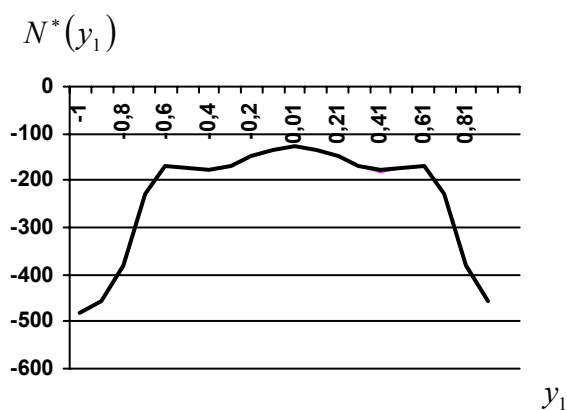


Рис. 3. Распределение нормального давления на нижней стороне полосы

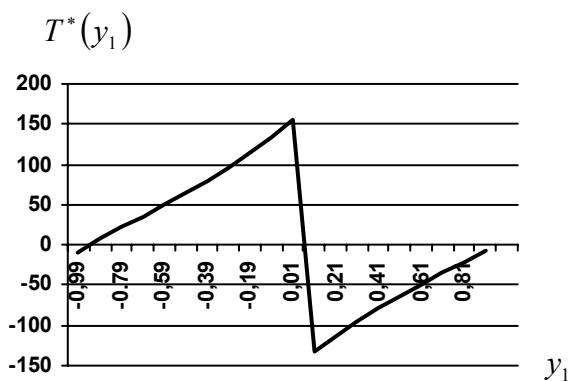


Рис. 4. Распределение тангенциального давления на нижней стороне полосы

На рис. 3-4 видно распределение нормального и тангенциального давления на нижней стороне полосы. Из графиков нормального и тангенциального напряжения видно, что нормальное напряжение имеет максимальное значение на краях зоны контакта, а тангенциальное напряжение минимальное.

### Литература

1. Бабич С.Ю., Гузь А.Н., Рудницкий В.Б. Контактные задачи для упругих тел с начальными напряжениями (жесткие штампы). // Прикл. механика. –1989.- т.25.- №8.– с. 3-18.
2. Ворович И.И., Александров В.М., Бабешко В.А. Неклассические смешанные задачи теории упругости. – М.: Наука, 1974.– 456 с.
3. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости. – М.: ГИТТЛ, 1953,-302с.
4. Гузь А.Н. Механика хрупкого разрушения материалов с начальными напряжениями. – К.: Наукова думка, 1983. – 296 с.
5. Демидович В.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1970. – 664 с.
6. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. –509 с.

Надійшла 11.10.2006 р.

М.Ф. СТАРОДУБ

Інститут біохімії ім. А.В. Палладіна Національної академії наук України

В.О. РОМАНОВ

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова Національної академії наук України

Р.В. КОЧАН, А.О. САЧЕНКО

Науково-дослідний інститут інтелектуальних комп'ютерних систем  
Тернопільського національного економічного університету

О.В. КОЧАН

Львівська національна академія ветеринарної медицини ім. С.З. Гжицького

## ВИКОРИСТАННЯ БІОСЕНСОРІВ ДЛЯ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТИКИ ГОСТРИХ ВІРУСНИХ ІНФЕКЦІЙ І МІКОТОКСИКОЗІВ

*Для експрес-діагностики гострих вірусних інфекцій та мікотоксикозів запропоновано структуру приладу, який включає оптико-електронні сенсори на основі поверхневого плазмонного резонансу, та використовує ансамбль нейронних мереж для обробки зареєстрованого сигналу, що дозволило підвищити достовірність діагностики при одночасному збільшенні ресурсу розробленого аналітичного пристрою. Використання особливостей структури сенсорів для зберігання власних параметрів дозволило створити вірус-незалежний вимірвальний перетворювач.*

### Вступ

На сьогодні використання аналітичних методів діагностики вимагає значного часу для проведення аналізу, складного обладнання, коштовної реагентної бази, лабораторних мов та персоналу з високою кваліфікацією [1]. Ці обмеження призводять до того, що діагностичні лабораторії є достатньо "рідкими" і тому вимагаються додаткові затрати часу на доставку зразків для аналізу, що створює чергу та інші проблеми обслуговування, і як наслідок час діагностики складає від декількох діб і більше. В цей самий час гострі вірусні інфекції (ГВІ) характеризуються швидкими темпами протікання захворювання та малим інкубаційним періодом. Тому використання аналітичних методів діагностики ГВІ не забезпечує можливості їх ефективного лікування на ранніх стадіях захворювання. Отже актуальною є задача створення методів та інструментальних засобів, призначених для експрес-діагностики ГВІ.

В пристрої експрес-діагностики пропонується використовувати реакцію "антиген-антитіло" для виявлення носіїв ГВІ та явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР) для побудови чутливого елементу. В Інституті біохімії НАНУ розроблено імунний біосенсор та методики для визначення ряду низькомолекулярних токсинів і діагностики деяких ГВІ, наприклад коров'ячого лейкозу [2, 3]. Основною перевагою цього приладу є низький час проведення діагностики – 10-30 хв. Основним недоліком цього приладу є великі масо-габаритні розміри.

Тому основне завдання авторів полягало у покращенні техніко-економічних показників існуючого приладу. Зменшення габаритних розмірів пропонується досягти за рахунок використання оптико-електронних сенсорів типу Spreeta [4], які базуються на явищі ППР. Спрощення обчислювальної частини пропонується забезпечити використанням мікроконтролера з великим ступенем інтеграції необхідних компонентів (аналого-цифрового перетворювача (АЦП), арифметико-логічного пристрою (АЛП), постійного запам'ятовуючого пристрою (ROM), оперативного запам'ятовуючого пристрою (RAM), і.т.д.).

### Опис сенсорів Spreeta

Сенсори Spreeta виробництва Texas Instruments побудовані на базі явища ППР та реалізовані в мікроелектронному виконанні. Сенсори забезпечують високу чутливість та швидкодію, що дозволяє в реальному часі виявляти наявність патогенних вірусів, контролювати присутність різноманітних домішок в рідинах та газах. Чутливим елементом сенсора є металічна плівка з нанесеною на неї біологічною структурою, тобто рецептором, який є селективним до молекул досліджуваної речовини, концентрацію якої визначають. Коли молекули досліджуваної речовини зв'язуються з рецептором, мінімум на кривій ППР зміщується пропорційно до концентрації досліджуваної речовини [5] рис. 1.

Алгоритм роботи з таким біосенсором включає наступні кроки:

- підготовка металічної плівки до нанесення рецептора;
- нанесення зазначеної структури на металічну плівку;
- забезпечення контакту досліджуваної проби з поверхнею біосенсора;
- вимірювання напруги на фотодіодній матриці;
- розрахунок мінімуму кривої ППР;
- видалення рецептора з металічної плівки.

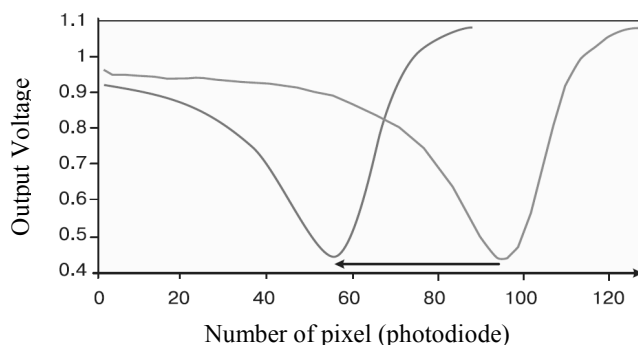


Рис. 1. Приклади залежностей напруги фотодіодів

Ресурс біосенсора визначається стійкістю металічної плівки до процесів нанесення та видалення рецептора. Положення мінімуму кривої ППР визначається концентрацією молекул досліджуваної речовини, зв'язаних з рецептором. У випадку малих концентрацій досліджуваної речовини залишається велика кількість “незв'язаних” молекул рецептора, які можуть бути використані при дослідженні наступних проб, тому пропонується запам'ятовувати положення мінімуму та вимірювати тільки його зміщення. Очевидно, що кількість досліджень при використанні рецептора є обмеженою і визначається концентраціями досліджуваних речовин при попередніх вимірах. Тому необхідно після кожного виміру визначати ресурс рецептора і проводити його оновлення після повного використання. Таким чином, можна в декілька разів збільшити ресурс біосенсора та зменшити трудомісткість проведення досліджень.

Використання вірус-, або токсин-специфічних рецепторів забезпечує селективність біосенсора. Методи отримання необхідних рецепторів (антигенів, або ж специфічних антитіл) добре відомі, загально прийняті і вони можуть бути використані для широкого спектру вірусів та мікотоксинів [3, 6, 7].

#### Метод обробки сигналу сенсора

Вихідним сигналом сенсора Sgreeta є напруга, яка генерується на фотодіодах лінійки з 128-ми фотодіодів. Ця напруга залежить від концентрації рецепторів (антитіл), які вступили в специфічну реакцію і може змінюватися в межах від 100 мВ до 3 В. Типові графіки функції залежності генерованої напруги від номера фотодіода представлені на рис. 1.

Обробку сигналів біосенсора пропонується проводити в декілька етапів:

- визначення концентрації “зв'язаних” молекул рецептора;
- визначення концентрації досліджуваної речовини з врахуванням результатів попередніх досліджень з допомогою цього ж самого рецептора;
- прогнозування ресурсу рецептора для наступних вимірів;
- прогнозування ресурсу металеві плівки сенсора з врахуванням кількості використаних циклів нанесення та видалення рецептора.

Для визначення концентрації “зв'язаних” молекул рецептора пропонується використати навчену штучну нейронну мережу в вигляді тривіневого перцептрона з 16-а нейронами вхідного рівня, одним нейроном вихідного рівня та деякою кількістю нейронів схованого рівня з сигмоїдною функцією активації. На нейрони вхідного рівня подаються сигнали фотодіодів симетрично від світло діода з мінімальним рівнем сигналу. З вихідного нейрона знімається значення концентрації “зв'язаних” молекул рецептора. Нейронна мережа підвищує точність розпізнавання мінімуму і збільшує завадостійкість приладу. Структура (кількість нейронів схованого рівня) та коефіцієнти цієї нейронної мережі визначаються при проектуванні рецептора.

Для визначення концентрації досліджуваної речовини необхідно врахувати вплив попередніх вимірювань на кількість “зв'язаних” молекул рецептора. Для цього пропонується використати додаткову штучну нейронну мережу. На її входи подаються концентрації “зв'язаних” молекул рецептора, отримані при попередніх вимірах, а з вихідного нейрона знімається значення концентрації досліджуваної речовини під час останнього виміру. Структура та коефіцієнти цієї нейронної мережі також визначаються при проектуванні типу рецептора.

Прогнозування ресурсу рецептора для наступних вимірів полягає у визначенні достатньої кількості його “незв'язаних” молекул для гарантованого визначення мінімальної необхідної концентрації досліджуваної речовини у наступній пробі. При досягненні визначеної концентрації “зв'язаних” молекул (для кожного типу рецептора своєї) необхідно здійснити його оновлення.

Прогнозування ресурсу металеві плівки сенсора полягає у визначенні її товщини та прийнятті рішення про те, чи вона є достатньою для проведення процедури видалення та нанесення рецептора за умови забезпечення необхідного рівня функціонування реалізації поверхневого плазмонного резонансу. Ресурс цієї плівки визначається методами видалення та нанесення рецептора і конкретизується при його виборі.

#### Структура приладу

Для забезпечення дискретизації напруги на фотодіодах рекомендується використовувати аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) з роздільною здатністю 12 біт [8]. Швидкодія АЦП повинна забезпечити дискретизацію вихідної напруги 128-ми фотодіодів з частотою вибірки від 5 кГц до 2 МГц. Рекомендована



швидкодія складає 25 кГц. АЦП з такими характеристиками широко представлені в номенклатурі систем на кристалі різних фірм [9-11].

В склад сенсора Sprreeta входить EEPROM, об'ємом 4 кб з інтерфейсом доступу типу ІІС. Цей EEPROM доцільно використати для зберігання інформації про сенсор, призначеної для роботи приладу. В цій пам'яті пропонується зберігати наступні записи:

- номер сенсора;
- тип ГВІ, для якої призначено сенсор;
- дату нанесення рецептора;
- термін дії рецептора;
- ресурс рецептора;
- кількість проведених досліджень з використанням рецептором;
- ресурс металевієї плівки сенсора;
- кількість оновлень рецептора;
- концентрації “зв'язаних” молекул рецептора при попередніх вимірах після останнього оновлення рецептора;
- структуру нейронної мережі, призначеної для визначення концентрації “зв'язаних” молекул рецептора [12];
- вагові коефіцієнти та зміщення нейронів нейронної мережі призначеної для визначення концентрації “зв'язаних” молекул рецептора;
- структуру нейронної мережі, призначеної для визначення концентрації досліджуваної речовини;
- вагові коефіцієнти та зміщення нейронів нейронної мережі призначеної для визначення концентрації досліджуваної речовини.

Тому контролер пристрою повинен підтримувати інтерфейс ІІС.

Структурну схему пристрою представлено на рис. 2.

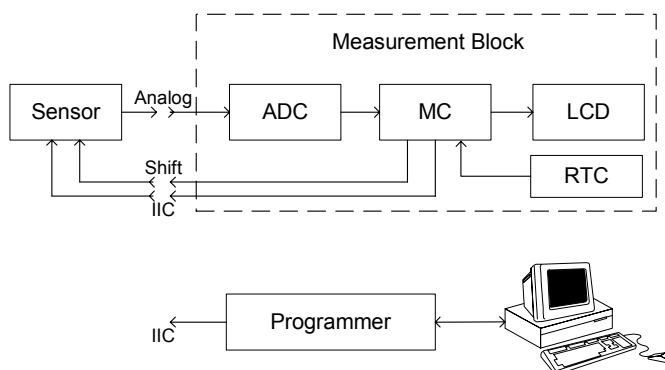


Рис. 2. Структурна схема пристрою

Конструктивно він складається з трьох частин – сенсор, вимірювальний блок та програматор, з'єднаних між собою з допомогою роз'ємів.

Вимірювальний блок призначений для дискретизації та аналізу вихідних сигналів сенсора та індикації результатів діагностики. Його ключовим елементом є мікроконвертор – MC – типу ADUC831 [13], який включає АЦП, ROM, RAM, АЛП, контролер інтерфейсу ІІС, порти вводу виводу, тактовий генератор. Він забезпечує:

- зчитування та декодування вмісту пам'яті сенсора;
- дискретизацію напруги на аналогових виходах сенсора;
- формування імпульсів керування сенсором;
- обробку вихідного сигналу сенсора;
- запис інформації у відповідні поля пам'яті сенсора;
- індикацію результатів роботи.

Дискретизація сигналу сенсора забезпечується з допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача – ADC. Індикація результатів роботи забезпечується з допомогою рідкокристалічного індикатора – LCD. Системний таймер – RTC – забезпечує можливість автоматичного визначення сенсорів, термін придатності рецепторів яких вичерпано. Узагальнена блок схема алгоритму роботи контролера вимірювального блоку представлена на рис. 3.

Програматор призначений для оновлення вмісту EEPROM сенсора при оновленні рецептору. Він підключається до комп'ютера та забезпечує програмування EEPROM по інтерфейсу ІІС. Він представляє собою драйвер інтерфейсу ІІС на базі програматора Іс-prog [14].

#### Висновки

Розроблено компактний пристрій, який забезпечує експрес-діагностику ГВІ та мікотоксикозів. Розроблений пристрій базується на реакції “антиген-антитіло” біологічно-активних речовин та явищі ПІР. Багаторазове використання рецептора (антигена, або антитіл) дозволило збільшити ресурс біосенсора та

зменшити трудомісткість досліджень біологічних проб. Зберігання інформації про біосенсор у вбудованому в сенсори EEPROM забезпечило можливість обробки отриманих сигналів за індивідуальним алгоритмом, що дозволяє проводити розробку вірус-, та токсин специфічних рецепторів та біосенсорів незалежно від вимірювального блоку. Конструктивне розділення вимірювального блоку та сенсора дозволило уніфікувати вузли, що забезпечило можливість використання набору сенсорів з одним вимірювальним блоком. Спектр використання пристрою забезпечується набором рецепторів та є інваріантним до самого пристрою.

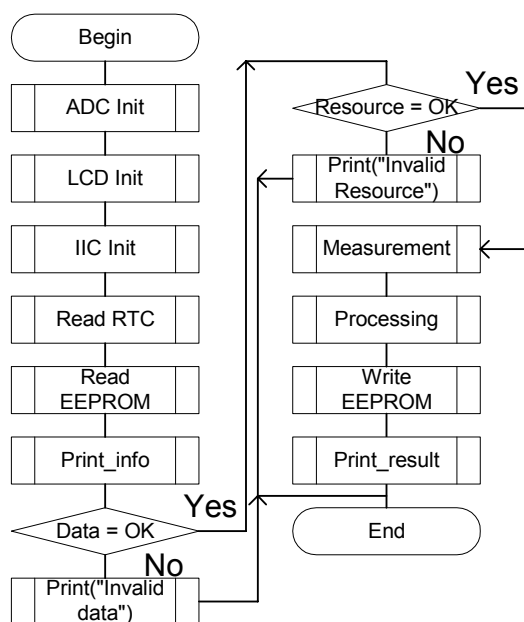


Рис. 3. Узагальнена блок-схема алгоритму роботи контролера вимірювального блоку

### Література

1. Романов В. Микроэлектронные биосенсорные системы. Электронные компоненты и системы. № 3, Март 2003, стр. 5 – 6.
2. Nabok A.V., Tsargorodskaya A., Hassan A.K., Starodub N.F. Total internal reflection ellipsometry and SPR detection of low molecular weight environmental toxins. Appl. Surface Science – 2005. – 246. – P. 381-386.
3. Starodub N.F., Pirogova L.V., Artyukh V.P., Starodub V.N. Biospecific interactions on the optical transducer surface the base of infection diagnostics // In Proc. of NATO ARW “Frontiers of Multifunctional Nanosystems. Ed. Buzaneva E., Scharff P. Vol. 57, P. 369-376. 2002.
4. <http://www.sensata.com/products/sensors/spreeta-highlights.htm>
5. Романов В., Бедненко Т. Микроэлектронные биосенсоры семейства Spreeta. Электронные компоненты и системы. № 4, Апрель 2004, стр. 4 – 7.
6. Starodub N.F., Starodub V.M., Demchenko A.V., Zherdev A.V., Dzantiev B.B., Goncharic A.V., Piven N.V. Creation of optical immune sensors for the determination of low weight toxic substances in environment. Proc. of International Trade Fair for Optical and Microtechnology Products with Conferences, 25-27 May 2004, Nuremberg Exhibition Center, Germany, 2004, P.335-340.
7. Starodub N.F., Pirogova L.V., Starodub V.M., Demchenko A. Antibody immobilization on the metal and silicon surface. The use of self-assembled layer and specific receptors. Bioelectrochemistry, 2005, 66, 111-115.
8. [http://www.aigproducts.com/surface\\_plasmon\\_resonance/spr\\_evaluation\\_module.htm](http://www.aigproducts.com/surface_plasmon_resonance/spr_evaluation_module.htm)
9. <http://www.analog.com/en/subCat/0,2879,762%255F%255F0%255F%255F0%255F,00.html>
10. [http://www.silabs.com/tgwWebApp/public/web\\_content/products/Microcontrollers/Precision\\_Mixed-Signal/en/mixedsig\\_matrix.htm](http://www.silabs.com/tgwWebApp/public/web_content/products/Microcontrollers/Precision_Mixed-Signal/en/mixedsig_matrix.htm)
11. [http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?family=analog&familyId=630&uiTemplateId=NODE\\_STRY\\_PGE\\_T](http://focus.ti.com/paramsearch/docs/parametricsearch.tsp?family=analog&familyId=630&uiTemplateId=NODE_STRY_PGE_T)
12. Turchenko, V. Kochan, A. Sachenko. Neural-Based Recognition of Multi-Parameter Sensor Signal Described by Mathematical Model // International Scientific Journal of Computing. – 2004. – Vol. 3. – Issue № 2. – P. 140-147
13. [http://www.analog.com/en/prod/0,,762\\_0\\_ADUC831%2C00.html](http://www.analog.com/en/prod/0,,762_0_ADUC831%2C00.html)
14. <http://www.ic-prog.com/>

Надійшла 16.10.2006 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МІДНІННЯ В УСТАНОВКАХ РЕГЕНЕРАЦІЇ**

*В статті представлені дані досліджень, направлених на створення обладнання, яке зменшує тиск на навколишнє середовище. Розглядається один із способів мідніння катодів в процесі відновлення розчинів травлення друкованих плат..*

Останнім часом вплив господарської діяльності людини на природу призводить до деградації природного середовища та суттєво впливає на його стан забруднення промисловими відходами. Значна частина заготовленої або добутої сировини (92 %) перетворюється на відходи. Розміщення відходів потребує вилучення значних площ землі, а транспортування та зберігання їх лягає важким тягарем на економіку підприємств. Токсичні відходи потребують спеціальних заходів щодо їх знешкодження та ізоляції.

З метою зменшення кількості відходів потрібно використовувати ресурсозберігаючі безвідходні та маловідходні технології комплексного перероблення сировини [1, 2].

Одним з ефективних напрямів зменшення відходів є використання їх як вторинної сировини. Якщо врахувати, що Україна не має в достатній кількості руд кольорових металів, то вилучення цих металів з відходів є перспективним. Відходи можуть значною мірою замінити первинні ресурсні джерела і суттєво зменшити споживання первинних ресурсів та утворення не утилізованих відходів.

Аналіз патентної та технічної літератури показав, що вирішенням проблеми відпрацьованих мідно-лужних травильних розчинів є перехід на маловідходний виробничий процес на базі замкнутого циклу "травлення– електрохімічна регенерація" у єдиній технологічній операції.

Електрохімічна регенерація в рециклі з процесом травлення дозволяє використовувати травильний розчин практично необмежений час, що зменшує витрату хімікатів до величини механічних втрат розчину за рахунок його віднесення із друкованими платами, різко зменшує кількість стічних вод й їх забруднення, стабілізує швидкості травлення, поліпшуючи тим самим якість друкованих плат і підвищуючи продуктивність устаткування.

В процесі електрохімічної регенерації виникає цілий ряд проблем, пов'язаних з осадженням та подальшим зняттям осадженого металу. На жаль на сьогоднішній день ці проблеми не ліквідовані зарубіжними та вітчизняними дослідниками [3, 4, 5].

Враховуючи вищевказане поставлена задача дослідження гальванічного мідніння та визначення основних параметрів процесу для побудови машин, апаратів та ліній, які можуть зменшити тиск на навколишнє середовище.

Дослідження процесу гальванічного мідніння в проточних і нерухомих електролітах проводили на установці, що складалася з електрохімічної комірки, та місткості з електролітом. Місткість була забезпечена погрузним відцентровим насосом, що забезпечує тиск в системі до  $1,5 \cdot 10^5$  Па, електричним нагрівником з системою терморегулювання. Між виходом насоса і входом в комірку на трубопроводі встановлена регулююча вимірювальна діафрагма, сполучена з диференціальним манометром.

Електроліт подавали насосом з бака в нижню частину комірки, з виходу якого він самочинно зливався назад в розчину місткість. Зразок розмірами 50x50 мм встановлювали у верхній частині комірки по її осі напроти листових мідних анодів з міді марки М1 завтовшки 3 мм. Наявність вхідної ділянки (до зразка) завдовжки 250 мм дозволяло стабілізувати профіль швидкостей електроліту. Середня швидкість подачі електроліту вимірювалася і регулювалася по показниках диференціального манометра. Електричне живлення комірки в потенціостатичному і гальваностатичному режимах здійснювали за допомогою потенціостатів 11-10 АМ. Як задатчики потенціалу при імпульсному електролізі використовували програматор ПР і генератор синусоїдальних коливань ГЗ. Запис струму здійснювали самопишущим потенціометром КСП. Електродом порівняння в потенціостатичних вимірюваннях служив насичений хлорсрібний електрод порівняння.

Дослідження впливу перемішування електроліту на кінетику міднення проводили також на дискових електродах діаметром 10 мм, виготовлених з міді марки М1. Розчини готували на дистильованій воді з хімікатів кваліфікації ХЧ і ЧДА.

В якості підкладки використовували наступні матеріали:

- фольгований діелектрик;
- полікор, сітал.

Середню товщину осадженої міді визначали ваговим методом.

Контроль якості гальванічних покриттів у відповідності з державним стандартом проводили по наступними основними показниками: зовнішній вигляд, товщина, пористість, міцність зчеплення захисним і спеціальним властивостям.

Фізико-механічні властивості електролітичних покриттів досліджували методом металографії, гнучкого катода, маятника і растрової електронної мікроскопії, вимірюванням мікрошорсткості. Зразки гальванічної осадженої міді аналізували методом растрової електронної мікроскопії (РЕМ).

Результати вимірювання твердості гальванічного осаду міді на повітрі наведена на рис. 1. Як видно,

при їх формуванні в умовах природної конвекції електроліту (крива I), твердість осаду немонотонно залежить від потенціалу осаду. На кривій спостерігається два максимуми: перший в області потенціалів  $0,0 \div 0,1$  В, і другий –  $-0,05 \div -0,15$  В. Зміна потенціалу поляризації до  $-0,2 \div -0,3$  В викликає різке зниження твердості осаду. При осаді шарів міді з проточних турбулізованих електролітів залежність твердості від потенціалу осаду нівелюється, хоча положення максимумів зберігається.

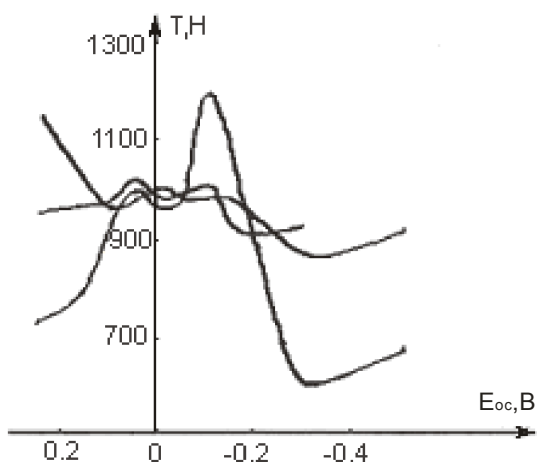


Рис. 1. Залежність твердості мідного осаду, виміряна на повітрі, від потенціалів осаду:

1. дані наведені при швидкостях потоку, м/с:
  - а) для графіка позначеного цифрами 1 – 0;
  - б) для графіка позначеного цифрами 2, 3 – 0,45;
2. Температура, °С:
  - для графіка, позначеного цифрами 1, 2 – +20°С,
  - для графіка, позначеного цифрами 3 – +40°С

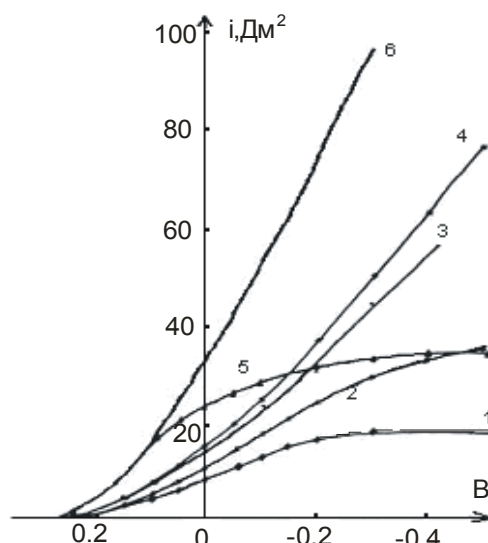


Рис. 2. Потенціостатичні криві осаду міді.

1. Дані наведені при швидкостях потоку, м/с:
  - а) для графіка позначеного цифрами 1 – 0;
  - б) для графіка позначеного цифрами 2, 5 – 0,05;
  - в) для графіка позначеного цифрами 3 – 0,1;
  - г) для графіка позначеного цифрами 6 – 0,45;
2. Температура, °С:
  - для графіка позначеного цифрами 1, 2, 3, 4 – +20°С,
  - для графіка позначеного цифрами 5, 6 – +40°С

Аналогічні криві були отримані і для різних відмінних від даної концентрації.

Із зіставлення результатів електронно-мікроскопічних досліджень і фізико-механічних властивостей осаду видно чітку кореляцію між ними. Твердість осаду зростає із збільшенням розмірів зерна і різко знижується при утворенні дендритів і порошку. Максимальну твердість показують сферолітичні утворення, одержані при потенціалі осаду  $-0,1$  В. Вся сукупність одержаних експериментальних фактів пояснюється, якщо врахувати, що згідно сучасних уявлень, катодне відновлення двовалентної міді в сульфатних розчинах відбувається в дві послідовні електрохімічні стадії через проміжне утворення іонів  $Cu^+$ .

Відомо, що підвищення концентрації іонів  $Cu^+$  у поверхні електроду призводить до підвищення стійкості плоского фронту зростання осаду і зниження його шорсткості. Накопичення іонів одновалентної міді, в свою чергу, залежить від густини струму і умов перемішування електроліту.

У неперемішуваних розчинах, при збільшенні густини струму відбувається підвищення інтенсивності природних конвективних потоків, особливо у вертикально розташованих електродах, що приводить до зниження концентрації іонів  $Cu^+$  і збільшення розмірів кристалів. Їх зворотне зниження при високих катодних поляризаціях обумовлене збідненням приелектродного шару розчину іонами двовалентної міді, що забезпечує зародження більшого числа дрібних кристалів в одиницю часу.

Крім того, слід враховувати, що іони одновалентної міді, накопичуючись в приелектродному шарі розчину, можуть утворювати закис міді і випадати на поверхні електроду, приводячи до її часткового перекриття і пасивації. Останнє знаходить віддзеркалення в початковому спаді струму на  $i-\tau$  кривих при потенціалах осадження більше  $-0,2$  В. Оскільки активними при цьому залишаються окремі ділянки поверхні електроду, то істинна густина струму на них зростає, що приводить до утворення дендритів, розпушування осаду і розвитку катодної поверхні. На  $i-\tau$  кривих спостерігається вторинний підйом струму.

Необхідно відзначити, що повної пасивації електроду закисом міді в цих умовах не відбувається за рахунок її подальшого відновлення по твердофазному механізму і часткового включення в осад. Останнє особливо важливе, оскільки може значно впливати на його фізико-механічні властивості, знижуючи зчеплення кристалів один з одним. Це є однією з причин зменшення твердості осаду, одержаного в неперемішуваних розчинах в області потенціалів більше  $-0,3$  В. Інтенсивне перемішування електроліту знімає дифузійні обмеження як по іонах одновалентної, так і двовалентної міді і сприяє стабілізації кристалічної структури осаду в широкій області потенціалів. Зниженню концентрації іонів  $Cu^+$  у поверхні електроду в цьому випадку

сприяє їх окислення розчинним киснем повітря.

Таким чином, з приведених експериментальних результатів виходить, що якнайкраща якість осадів в неперемішуваних електролітах і при ламінарному режимі їх руху може бути одержана у області потенціалів осаду  $0,0 \div -0,15$  В, а в турбулентних потоках цей інтервал може бути розширений до  $-0,3$  В.

Для визначення швидкостей осаду міді і катодних виходів по струму були побудовані потенціостатичні криві, значення густини струму на яких зіставлялася з середніми швидкостями покриття, зміряними ваговим способом.

Потенціостатичні криві, побудовані по середніх значеннях струму, наведені на рис. 2

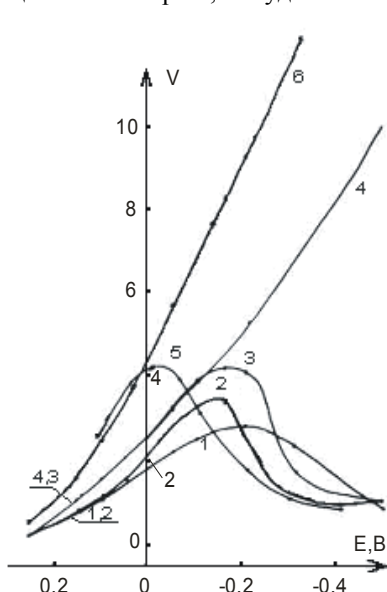


Рис. 3. Вплив потенціалу на швидкість осаду міді.

1. Дані приведені при швидкостях протоку, м/с:
  - а) для графіка позначеного цифрами 1 – 0;
  - б) для графіка позначеного цифрами 2,5 – 0,05;
  - в) для графіка позначеного цифрами 3 – 0,1;
  - г) для графіка позначеного цифрами 6 – 0,45;
2. Температура, °С:

- для графіка позначеного цифрами 1,2, 3, 4- +20°С,
- для графіка позначеного цифрами 5, 6- +40°С.

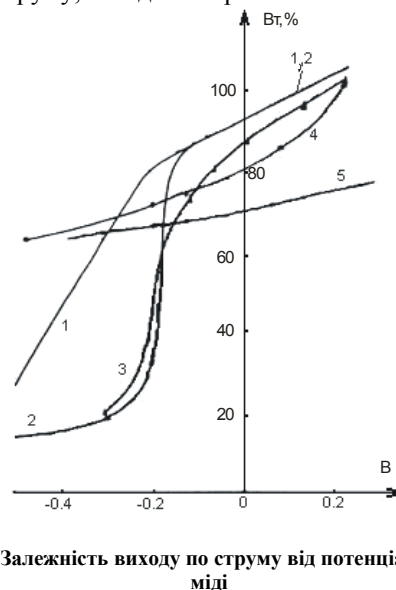


Рис. 4. Залежність виходу по струму від потенціалу осаду міді

1. Дані приведені при швидкостях протоку, м/с:
  - а) для графіка позначеного цифрами 1 – 0;
  - б) для графіка позначеного цифрами 2- 0,05;
  - в) для графіка позначеного цифрами 3 – 0,1;
  - г) для графіка позначеного цифрами 4,5 – 0,45;
2. Температура, °С:

- для графіка позначеного цифрами 1,2, 3, 4- +20°С,
- для графіка позначеного цифрами 5- +40°С.

Як видно з наведених графіків, в неперемішуваних розчинах до потенціалів  $-0,2$  В осад міді відбувається із змішаним дифузійно-кінетичним контролем швидкості процесу, а при подальшому збільшенні потенціалу спостерігається область граничного струму дифузії, причиною якого вважається сповільнена доставка іонів міді до реакційної поверхні. З підвищенням швидкостей протоки електроліту дифузійні обмеження процесу знімаються, і густина струму в дослідженій області потенціалів монотонно зростає. Аналогічна картина спостерігається і при підвищенні температури процесу осадження до  $+40$  °С.

Залежності швидкостей катодного осадження міді від потенціалу наведені на рис. 3, з яких видно, що у ламінарних режимах руху і в неперемішуваних розчинах (тобто при природній конвекції) залежності швидкостей осаду міді від потенціалу осаду мали екстремальний характер. Положення максимуму на них відповідало потенціалам  $-0,1 \div -0,2$  В, а потім слідував спад швидкості процесу.

Відмінності між катодною густиною струму і швидкостями формування осаду міді знайшли своє віддзеркалення на катодних виходах по струму, представлених на рис. 4. У неперемішуваних і рухомих ламінарно розчинах катодні виходи по струму міді знижувалися лінійно до потенціалів осаду  $-0,1 \div -0,2$  В, а потім слідував їх різкий спад. Первинний спад виходу по струму обумовлений відведенням іонів одновалентної міді, що проміжно утворюються, в об'єм розчину. Це підтверджується і збільшенням його крутизни при збільшенні швидкості руху електроліту. Різке зниження виходу по струму при потенціалах більше  $-0,2$  В співпадає із зміною характеру  $i - \tau$  кривих і морфології осаду, одержаних в даних умовах. Його причиною є утворення погано зчеплених порошкоподібного осаду, що обсаплюється з поверхні електроду.

При швидкостях руху електроліту  $0,45$  м/с, тобто в турбулентній області режимів руху, вихід по струму монотонно знижувався із збільшенням катодної поляризації, що також співпадало з результатами дослідження морфології осаду. Однак потрібно відмітити, що з підвищенням температури швидкість активаційних стадій зростає, що приведе до збільшення частки іонів одновалентної міді, що відновлюються до металу. Можна припустити, що цей чинник більшою мірою прискорює першу стадію процесу – відновлення іонів міді (II) до одновалентного стану.

Як видно з наведених результатів, в сульфатних розчинах вказаного складу принципово можна досягти швидкостей осаду міді  $8 \div 10$  мкм/хв, що відповідає густині струму  $60 \div 80$  А/дм<sup>2</sup>, і дозволяє одержувати задовільну якість осаду. Проте однонаправлений потік електроліту уздовж поверхні ПП, що має значне газонаповнення, викликає ряд негативних явищ. По-перше, це приводить до спотворення поперечної

конфігурації провідників і збільшення їх коефіцієнта розростання до  $0,9 \div 1,0$ , що не допустиме, особливо при виготовленні прецизійних ПП. По-друге, додаткова турбулізація потоку біля отворів викликає нерівномірність розподілу металу на їх краях.

Дослідження можливості отримання мідного осаду на імпульсному і реверсному струмі, залежно від амплітудної густини струму, і частоти проходження імпульсів показали, що катодна густина струму, яка дозволяє одержувати якісний осад міді, зростає з підвищенням швидкості протоку електроліта. Виходи по струму міді при цьому знижуються, також як і при осаді на постійному струмі. Перевищення деякої критичної густини струму, залежної від інтенсивності перемішування, приводить до зміни структури осаду, появи дендритів і порошку, особливо по краях поверхні плати чи поверхні пластини. Виразки поверхні спостерігалися переважно при швидкостях протоку близько  $0,2$  м/с і катодної густини струму  $20 \div 30$  А/дм<sup>2</sup>. З підвищенням швидкості протоку розчину, його температури і катодної густини струму кількість міхурів повітря, що затримуються на поверхні міді, різко знижувалося. Більш рівномірним був і розподіл металу на провідниках і в отворах пластин.

Враховуючи викладене можна зробити висновок, що для експлуатації такої установці потрібні спеціальні високовольтні джерела живлення, причому основна витрата електроенергії відбуватиметься на нагрів розчину.

Проведені випробування дозволили вибрати найкращі результати по швидкостях і якості осаду, що виходили в наступному режимі:

Швидкість протоку електроліту, м/с	Катодна густина струму, А/дм <sup>2</sup>	Анодна густина струму, А/дм <sup>2</sup>	Температура електроліту, °С	Вихід по струму міді, %
0,4	50	2	+40	50

### Висновки

1. Твердість осаду немонотонно залежить від потенціалу осаду. На графіку спостерігається два максимуми: перший у області потенціалів  $0,0 \div 0,1$  В, а другий –  $0,05 \div -0,15$  В. Зміна потенціалу поляризації до  $-0,2 \div -0,3$  В викликає різке зниження твердості осаду.

2. Як видно з результатів, катодна густина струму, дозволяюча одержувати якісний осад міді, зростає з підвищенням швидкості протоку електроліту. Виходи по струму міді при цьому знижуються, також як і при осаді на постійному струмі. Перевищення деякої критичної густини струму, залежної від інтенсивності перемішування, призводить до зміни структури осаду, появи дендритів і порошку, особливо по краях ПП.

3. Інтенсивне перемішування електроліту знімає дифузійні обмеження як по іонах одновалентної, так і двовалентної міді і сприяє стабілізації кристалічної структури осаду в широкій області потенціалів.

4. Для експлуатації установки потрібні спеціальні високовольтні джерела живлення, причому основна витрата електроенергії відбуватиметься на нагрів розчину.

5. Подальші дослідження мають бути направлені на пошук нових оригінальних схем, які б забезпечили раціональне використання матеріалів, безпечні умови роботи для працюючих та зменшити викиди забруднених відпрацьованих розчинів на очисні споруди та в навколишнє середовище.

### Література

1. Ильин В.А. Технология изготовления печатных плат. – Л.: Машиностроение, 1984. – 77 с.
2. Справочник по печатным схемам / Под ред. Файзулаева В.Н., Квасницкого В.В. – М.: Советское радио, 1972. – 696 с.
3. Федулова А.А., Котов Е.П., Явич Э.Р. Многослойные печатные платы. – М.: Советское радио, 1997. – 248 с.
4. Ильин В.А. Металлизация диэлектриков. – Л.: Машиностроение, 1977. – с. 38-72.
5. Федулова А.А., Котов Е.П., Явич Э.Р. Химические процессы в технологии изготовления печатных плат. – М.: Радио и связь, 1981. – 136 с.

Надійшла 8.10.2006 р.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 10 від 25.05.2005 р.**

Підп. до друку 26.05.2005 р. Ум.друк.арк. 22,65 Обл.-вид.арк. 17,37

Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.

Наклад 100, зам. № \_\_\_\_\_

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету” редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63