

ISSN 2226-9150

Науковий журнал

1.2013

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

THE BULLETIN OF KHMELNITSKY NATIONAL UNIVERSITY
Technical sciences

Технічні науки

Хмельницький 2013

ВІСНИК ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Затверджений як фахове видання
Постановою президії ВАК України від 10.02.2010 № 1-05/1
(http://vak.org.ua/docs//prof_journals/journal_list/whole.pdf)

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Issued 6 times in a year since 1997

Хмельницький, 2013, № 1 (197)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)
Founder and Publisher: Khmelnytsky national university, Khmelnytsky, Ukraine
(until 2005 – Technological university of Podillya, Khmelnytsky, Ukraine)

Головний редактор Скиба М. Є., заслужений працівник народної освіти України,
д. т. н., професор, академік МАІ, академік УТА,
ректор Хмельницького національного університету

Заступник головного редактора Параска Г. Б., д. т. н., професор, проректор
Хмельницького національного університету

Голова редакційної колегії Шинкарук О. М., д. т. н., професор, завідувач кафедри
радіотехніки та зв'язку Хмельницького національного університету

Відповідальний секретар Гуляєва В. О., завідувач відділом інтелектуальної власності
Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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. Диха О.В.,
д.т.н. Калда Г.С., д.ф.-м.н. Качурик І.І., д.т.н. Кіницький Я.Т., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Костогриз С.Г.,
д.т.н. Кострицький В.В., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Либа В.П., д.т.н. Мазур М.П., д.т.н. Поморова О.В.,
к.т.н. Мандзюк І.А., д.т.н. Мясичев О.А., д.т.н. Олександренко В.П., д.т.н. Пастух І.М.,
д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Сарібеков Г.С., д.т.н. Сілін Р.І., д.т.н. Семенюк М.Ф.,
д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стечишин М.С., д.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шалапко Ю.І., д.т.н. Шевеля В.В.

Технічний редактор Горященко К. Л., к.т.н.
Редактор-коректор Брожено В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол №6 от 23.01.2013 р.**

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

((038-22) 2-51-08
e-mail: visnyk_khnu@rambler.ru

web: <http://visniktup.narod.ru>
<http://vestnik.ho.com.ua>
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, 2013
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2013

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

І.М. ПАСТУХ, М.В. ЛУК'ЯНИК, В.О. КУРСКАЯ АЛГОРИТМИ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІВ УТВОРЕННЯ НІТРИДІВ ПРИ АЗОТУВАННІ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕСТАЦІОНАРНИМ ЖИВЛЕННЯМ	7
Р.І.СІЛІН, А.І.ГОРДЄЄВ, Р.С.СІЛІН, Є.А.УРБАНИК ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПУЛЬСУЮЧИМ РОБОЧИМ ТІЛОМ НЕЗАЛЕЖНО ВІД ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ. ПОВІДОМЛЕННЯ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МЕХАНІЗМІВ ТА НАПРЯМКІВ СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ЛОКАЛІЗОВАНОЇ ДІЇ	13
Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, М.И. СУББОТИНА КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОГО РЕДУКТОРА	21
Р.С. ГРУДОВИЙ НОВІ ТИПИ ГВИНТОВИХ МЕХАНІЗМІВ З ПОКРАЩЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	24
И.В. ПАВЛЕНКО РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИЗГИБА ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	28
І.О. СИВАК, О.М. МИРОНЕНКО, Є.І. ШЕВЧУК РОЗПОДІЛ ВНУТРІШНІХ СИЛОВИХ ФАКТОРІВ В ПЕРЕРІЗІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЛОКАЛЬНОМУ НАВАНТАЖЕННІ	32
С.І. СУХОРУКОВ, В.О. СОРОКОУМОВА, В.О. БАГРІЙ ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПЛОСКОЇ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЇ ПРОКАТКИ НА ВЕЛИЧИНУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ	37
В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛОИСТЫХ БАЛОК	41
О. В. ГЕРАСИМЮК ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ З ДИЗЕЛЬНИМИ ДВИГУНАМИ	44
Д.В. ЛАЗАРЕВА, И.И. ДУРНОПЬЯНОВ, М.А. СТАРИКОВ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РАМЫ ПОЛУПРИЦЕПА ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ	47
В.С. НЕЙМАК, Г.Б. ПАРАСКА, В.В. ЧАБАН ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗУСИЛЬ НА МЕХАНІЗМ ПАЗОВИХ ГОЛОК ОСНОВОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН	51
В.Ю. КАЛАШНИК В.Ю. ЩЕРБАНЬ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ НИТИ ПО НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МАЛОЙ КРИВИЗНЫ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ ТРЕНИЯ	57
В.П. РОЙЗМАН, С.А. ПЕТРАЩУК, Д.О. КОКОРЄВ ПРОБЛЕМА МІЦНОСТІ КОМПАУНДОВАНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	61
Г.М. КЛЕЩЁВ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА БАЗЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ И СТАНОЧНОЙ СИСТЕМ	67
Р.О. БОРЯЧОК ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАЄМОДІЇ КОМПАУНДА З ВИВОДОМ І ОБОЛОНКОЮ ТА РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ КОМПАУНДУ В РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЯХ ГЕРМОВУЗЛІВ ТОНКОПЛІВКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ	71

М. П. ГАЩУК МЕТОДИКА ВРАХУВАННЯ ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ ПАРКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	80
П.С. МАЙДАН ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ ОТРИМАНИХ В УДОСКОНАЛЕНОМУ ПРОЦЕСІ СКЛАДАННЯ ЗАГОТОВОК ВЕРХУ ВЗУТТЯ	84
В. М. ЛИСОГОР, А. В. ЛИСОГОР МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО БІОПАЛИВА З АБСОЛЮТОВАНИМ ЕТАНОЛОМ	88
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
О.В. ПОМОРОВА, А.В. ИВАНОВ, М.Ю. ЛЯШКЕВИЧ СИСТЕМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ АНАЛИЗА, МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	93
О.Я. ОЛАР, В.Я. ЛЯШКЕВИЧ, М.Ю. ЛЯШКЕВИЧ, І.С. ЦУРКАН ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ШАБЛОНІВ ДЛЯ ОПИСУ СИТУАЦІЙ ПРОЦЕСУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ	101
Д.М. МЕДЗАТИЙ, Д. О. ІВАНЧИШИН РОЗРОБКА СТАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ НА БАЗІ МЕТОДУ СОМЕТ	108
О.М. ШИНКАРУК, О.М. ЯШИНА ВИКОРИСТАННЯ СМАРТ-КАРТ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	114
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДОМИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	117
В.В. ВИШНІВСЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗБОЇВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	122
І. В. ГУРМАН РОЗВИТОК ПРИНЦИПУ ПЕРЕВІРКИ ДОСТОВІРНОСТІ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ТРИПОЗИЦІЙНОЮ ПАСИВНОЮ СИСТЕМОЮ РАДІОТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ОБ'ЄКТІВ	126
Ю.В. УЛЬЯНОВСЬКА АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ НАВЧАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ МИТНОЇ ВАРТОСТІ ТОВАРІВ	130
О.Є. РУБАНЕНКО, С.В. МИСЕНКО КООРДИНАЦІЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	135
П.А. ШКУЛПА АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ТЕСТІВ ДЛЯ АВТОНОМНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ	140
А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ СТАБІЛІЗАЦІЯ ЧАСТОТИ НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ТЕРМОСТАТУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	144
Р.В. КОЧАН МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ПОДІЛЬНИКА НАПРУГИ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ АЦП	148
В.А. ВОЗНІОК, В.П. ДЕНИСЮК, К.О. КОВАЛЬ СУЧАСНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ ТА АНАЛІЗАТОРОМ СПЕКТРУ	155
О.Є. РУБАНЕНКО, В.О. ЛЕСЬКО, О.О. РУБАНЕНКО ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС З ВРАХУВАННЯМ ЧУТЛИВОСТІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ І ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РЕГУЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ	160

С.В ЗАЙЦЕВ, Е.В. РЫНДИЧ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РАДИОСТАНЦИЙ	166
В. М. МОЛОКАНОВА МЕТОД ФОРМУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ ЦІННІСНО-ОРІЄНТОВАНОГО РОЗВИТКУ ОРГАНІЗАЦІЇ	172
О.В. ТЕРЕЩЕНКОВА МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИБОРІ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА СУДНОРЕМОНТНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	178
Т.М. НІКІТЧУК ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕЄСТРАЦІЇ ПУЛЬСОВОЇ ХВИЛІ	183
І.В. ГУЛА РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФАЗОМЕТРА ЗА МЕТОДОМ КОІНЦИДЕНЦІЇ	187
М.В. КУЗЬ ОРГАНІЗАЦІЙНА СХЕМА ПОВІРКИ ЕТАЛОНІВ, ЛІЧИЛЬНИКІВ ТА ВИТРАТОМІРІВ ГАЗУ НА ОСНОВІ ДІАГРАМ СТАНІВ	190
В.Т. КОНДРАТОВ ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ: РЕШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ С ПРИПИСЫВАЕМОЙ ОБЪЕКТУ ИЗМЕРЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ. СООБЩЕНИЕ 2.1	194
В. В. РОМАНЮК ЗАВИСИМОСТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НЕЙРОСЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ С ОДНИМ СКРЫТЫМ СЛОЕМ НЕЙРОНОВ ОТ ГЛАДКОСТИ ЕЁ ОБУЧЕНИЯ НА ЗАШУМЛЕННЫХ КОПИЯХ АЛФАВИТА ОБРАЗОВ	201
ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
О.В. ЗАХАРКЕВИЧ ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ГНУЧКОЇ ПЕРЕОРІЄНТАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЖІНОЧОГО ВЕРХНЬОГО ОДЯГУ	207
К.І. БОНДАР, О.В. ПЯСТУК ДОСЛІДЖЕННЯ УПОДОБАНЬ СПОЖИВАЧІВ ПРИ ВИБОРІ ЖІНОЧОГО ВЕРХНЬОГО ОДЯГУ КОСТЮМНОГО АСОРТИМЕНТУ	212
А.В. СЕЛЕЗНЬОВА АНАЛІЗ ЗМІНЮВАННЯ СТИЛЬОВИХ РІШЕНЬ ФОРМИ ЖІНОЧОГО КОРСЕТА	216
Н.В. КУДРЯВЦЕВА ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ТИПІВ ФІГУР ДІВЧАТОК ШКІЛЬНОГО ВІКУ ЗА ЇХ ЗАГАЛЬНОЮ ОБ'ЄМНО – ПРОСТОРОВОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ БУДОВИ ТІЛА	221
А.Н. КУЛИШ, Л.А. НЕСТЕРОВА, М.Л. КУЛИГИН ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАТИОННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХЛОПЧАТОБУМАЖНОГО ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА	229
О.В. СМАЧИЛО МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХУТРОВИХ ОВЧИН МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	232
О.В. РОМАНКЕВИЧ, О.А. ГАРАНИНА, Н.А. БАРДАШ СМАЧИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВОЛОКОН ЖИДКОСТЬЮ	235
Ю.О. ВАЩЕНКО, Н.П. СУПРУН, М.А. МАРХАЙ РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ КОМПЛЕКТІВ	239
Н.А. БАРДАШ, Н.В. ГУДЗЕНКО, О.А. ГАРАНИНА, О.В. РОМАНКЕВИЧ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАН ПОСЛЕ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ	243

Л.І. ТЕБЛЯШКІНА , І.Г. БРЮХОВА , О. БАГЛАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ЗАБРУДНЕНЬ З ПОФАРБОВАНИХ ПОЛІАМІДНИХ МАТЕРІАЛІВ	248
І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕКСТИЛЮ ШЛЯХОМ ЙОГО ПОВЕРХНЕВОЇ МОДИФІКАЦІЇ АНТИМІКРОБНИМИ ПРЕПАРАТАМИ	251
А.Д. КОБИЩАН ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ХОЛОДНОГО ВИБІЛЮВАННЯ ДЛЯ ПЛАТТЯНИХ ЛЛЯНИХ ТКАНИН	255
А.М. СЛІЗКОВ, О.В. ТРОФІМОВА, А.О. ПОТАПОВ ОБГРУНТУВАННЯ РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ СТРУКТУРИ ВОЛОКНИСТИХ ПРОДУКТІВ	259
М.СТ. МАЛЬОВАНІЙ, Г.В. САКАЛОВА, Н.Ю. ЧОРНОМАЗ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ОСАДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ СОРБЕНТІВ У ВОДІ ПІСЛЯ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ВІД ІОНІВ АМОНІЮ	265
Г.В. САКАЛОВА ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ КУПРУМУ (II) З ВОДИ ГЛИНАМИ ЧЕРКАСЬКОГО РОДОВИЩА	269
І.Л. НАЙВЕР ПРОЦЕСИ ВЗАЄМОДІЇ НА МЕЖІ КОНТАКТУ СИЛІЦІЙОРГАНІЧНИЙ ПОЛІМЕР – КЕРАМІКА	272
Ю.А. РУДЯК ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ КРИТЕРІЙ ГРАНИЧНОГО СТАНУ ДІЕЛЕКТРИКІВ	275
В.С. ЛУКАШОВ, Н.І. ПОПОВИЧ, М.С. БЕДНАРЧУК ТОВАРНЕ МАРКУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТИВНО НЕОБХІДНИЙ ЕЛЕМЕНТ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВЗУТТЯ В УМОВАХ РИНКУ	278

УДК 621.78/(66.088+537.52+66.046)

І.М. ПАСТУХ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, В.О. КУРСКАЯ

Хмельницький національний університет

АЛГОРИТМИ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ УТВОРЕННЯ НІТРИДІВ ПРИ АЗОТУВАННІ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕСТАЦІОНАРНИМ ЖИВЛЕННЯМ

Розроблено алгоритми визначення аналітичного критерію утворення нітридів при азотуванні в тліючому розряді з нестационарним живленням.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, нестационарне живлення, критерій, утворення нітридів.

The algorithms of criterions determination by nitrides formation are developed at nitridings plant in a gas discharge with a variable feed.

Keywords: nitriding, smouldering digit, non-stationary feed, criterion, formation of nitridiv.

Аналітичні характеристики, які в певній мірі якісно відображають процес утворення нітридів при умовно стаціонарному живленні та базуються на енергетичній моделі, запропоновані в [1–3]. Хоча формування поверхневого шару нітридів є наслідком паралельної дії як субпроцесів, що безпосередньо забезпечують його, так і субпроцесів, наслідком котрих є руйнування цього шару шляхом розпорошення та стимулювання дифузії азоту в глибину поверхні, в цій роботі буде розглянуто тільки критерій утворення нітридів. В якості подібного критерію при умовно стаціонарному живленні запропоновано відносний енергетичний фактор (ВЕФ) утворення нітридів. Фізичний зміст цього показника становить сепарація енергетичного спектру падаючого потоку (ЕСПП) за умовами прийнятності енергії, переданої від частки, що бомбардує поверхню, частці поверхні, яка за своєю природою придатна для утворення нітриду. Енергетичними межами сепарації прийнято діапазон енергетичних рівнів, між якими можливе утворення нітридів відповідного сорту. При цьому повинні враховуватись не тільки абсолютна величина енергії частки падаючого потоку, але також ймовірнісна характеристика кутів зіткнення часток падаючого потоку і поверхні. Для цього у вираз для визначення ВЕФ утворення нітридів повинна входити складова, яка б могла враховувати саме геометрію зіткнення. Цей елемент аналітики має вигляд

$$\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \cos \theta \, d\theta,$$

де θ – кут, який характеризує геометрію зіткнення і вимірюється між напрямком руху частки падаючого потоку та напрямком нормалі до поверхні контрчастки в точці зіткнення,

θ_{\max} , θ_{\min} – максимальний та мінімальний кути, за допомогою яких встановлюються обмеження енергетичних рівнів по максимуму та мінімуму.

Величини максимального та мінімального обмежень енергій формуються, виходячи з того, що утворення нітридів стане можливим, якщо енергія, передана від частки падаючого потоку частці поверхні (з врахуванням кута передачі), буде достатньою для утворення нітриду певного сорту (відповідно до сорту часток поверхні, з якими можливе утворення цих нітридів), але не перевищить межу, після якої поверхня буде розпорошуватись. В [1–3] обґрунтовано ці межі: з мінімальної сторони енергією утворення відповідного нітриду ε_d ; з максимальної – енергією, при якій контрчастка (частка поверхні) покидає поверхню (розпорошується). В якості максимальної енергії прийнята енергія сублімації ε_{sb} . Крім того, якщо частка падаючого потоку є молекулою і для утворення нітриду вона попередньо повинна дисоціювати, то мінімальна енергетична межа повинна бути збільшеною на величину енергії дисоціації молекули ε_d .

В принциповому плані живлення розряду в камері може бути постійним (точніше умовно постійним, з врахуванням принципу регулювання напруги за допомогою тиристорних приладів, які відсікають частину синусоїдального сигналу) або нестационарним. Останній варіант має безліч видів реалізацій, хоча їх можна звести до обмеженого числа підвидів. До них відносяться макрофазові процеси, які складаються з певної кількості фаз, тривалість котрих порівнянна з загальною тривалістю модифікаційного процесу. Як правило, в цьому випадку в кожній фазі живлення розряду відбувається за схемою умовно постійного. Другою різновидністю багатофазових модифікаційних процесів є мультифазові режими, тривалість окремих фаз в яких одного порядку з часом переходу тліючого розряду в дуговий та з часом гасіння розряду. Вибір саме цього показника в якості критерію класифікації процесів пояснюється тим, що однією з головних технологічних переваг мультифазових процесів є можливість відвернення переходу тліючого розряду в дуговий без використання складних спеціальних пристроїв в системах управління устаткуванням.

У найбільш узагальненому вигляді нестационарне живлення може мати характер циклічно-кутованого та аналогового. Принципова різниця між аналоговим режимом та згаданим вище макрофазовим полягає в тому, що, не дивлячись на ніби-то спорідненість впливу на наслідки обробки, результативність процесів суттєво різні. Ця теза пояснюється наступним. Як вже зазначалось вище,

модифікація поверхні з використанням в якості активатора тліючого розряду ϵ , по суті, сукупністю декількох конкуруючих субпроцесів. Стимулювання будь-якого з них або, навпаки, пригнічення іншого шляхом зміни параметрів технологічного режиму в області, котрі найбільш ефективні для того чи іншого субпроцесу, корінним шляхом впливає на формування поверхневого модифікованого шару. Проте реакція на подібну зміну енергетики модифікації різна для макрофазового та аналогового варіантів. Справа в тому, що якщо, наприклад, на протязі тривалого часу спочатку формується шар нітридів (макрофазовий процес), а потім стимулюється бомбардування цієї ж поверхні більш високоенергетичним потоком, то у значній мірі наслідком подібного чергування фаз режиму буде крім розпорощення поверхневого моношару ще й руйнування більш глибоко розташованих шарів з відповідним стимулюванням дифузії азоту в глибину поверхні. У випадку аналогового мультифазового процесу ефект дифузії може бути менш помітним, оскільки незначний шар нітридів, утворений в фазі енергетичного сприяння відповідній реакції, в основному при підвищенні енергії падаючого потоку буде розпорощуватись. Результируючий ефект природно може бути суттєво різним: формування тільки зони нітридів при практично відсутності зони внутрішнього азотування чи незначний шар нітридів або навіть його відсутність при потужній зоні твердого розчину азоту в приповерхневому шарові. Відповідно кардинально відрізнятимуться експлуатаційні властивості модифікованої поверхні. Наведені на рис. 1 схеми зміни умовного енергетичного параметра W (класифікація параметрів [4–7]) ілюструють вище зазначене.

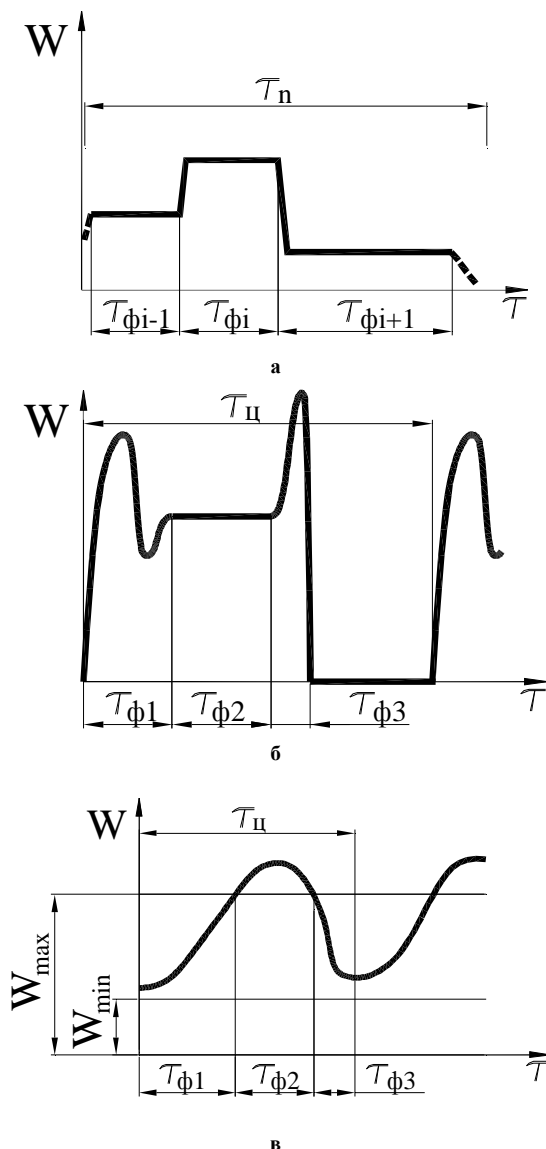


Рис. 1. Приклади зміни енергетичного параметра технологічного режиму для процесів:
а – макрофазового, б – мультифазового циклічно комутованого, в – аналогового мультифазового

зони розпорощення, хоча в принциповому плані не заперечується можливість застосування комбінованих процесів. Відсутність пауз сприяє тому, що перехідні процеси включення та виключення напруги суттєво менш впливові.

В найбільш узагальненій формі динамічний енергетичний фактор (ДЕФ, [4]) утворення нітридів всіх сортів визначається як

Короткий коментар до рис. 1 зводиться до наступного. Для макрофазового процесу енергетичний параметр технологічного режиму може змінюватись декілька разів, тобто процес може включати певну кількість фаз з різними значеннями цих параметрів, тривалість кожної з яких $\tau_{\phi i}$ одного порядку із загальною тривалістю процесу обробки τ_n . В мультифазових процесах окремі фази періодично повторюються, але тривалість кожного з цих циклів $\tau_{\phi i}$ на багато порядків менша загальною тривалістю обробки. Якщо процес за характером – циклічно комутований, то цикл включає як фази, коли енергія потоку складає певну величину, так і проміжки часу, коли енергетичне збудження процесу відсутнє. В залежності від характеру та принципу комутації частина циклу, коли напруга на електроди камери подається, може складатися з декількох фаз тривалістю $\tau_{\phi 1}$, $\tau_{\phi 2}$ і т. п. Форма зміни енергетичного параметра та тривалість окремих фаз залежить від електричних характеристик розрядних камер, величини номінального значення енергетичного параметра тощо, а також від установок комутації (частота, шпаруватість сигналу тому подібне). На останні величини впливають, в першу чергу, необхідність забезпечення співвідношень тривалості сигналу і паузи з часом переходів від тліючого до дугового розряду та гасіння дугового розряду. Ці ж фактори, а також межі енергетичного впливу враховуються у випадку, коли характер процесу мультифазовий аналоговий. В якості згаданих меж як правило приймаються мінімальні енергетичні рівні утворення нітридів та розпорощення часток поверхні певного сорту. Енергетичний рівень розпорощення поверхні, величина якого, як зазначалось вище, в основному рівна енергії сублимації, одночасно є максимальним рівнем енергетичного параметра утворення нітридів. Принципова відмінність мультифазового аналогового від мультифазового циклічно комутованого полягає насамперед в тому, що енергетичний параметр технологічного процесу практично ніколи не дорівнює нулю, а в основному коливається в межах зони утворення нітридів і частини

$$F_N = \sum_{k=1}^{Z_k} \left[\int_0^{\tau_{\phi}} \varepsilon_{WR} (U(\tau), j(\tau), R) d\tau \Phi_{\varepsilon\theta} \frac{\tau_{\phi f}}{\sum_{f=0}^{Z_{\phi}} \tau_{\phi f}} \right],$$

$$\Phi_{\varepsilon\theta} = \left(2 \int_0^{\varepsilon_i} j_{v\in Mk}(\varepsilon) d\varepsilon \int_{\theta_{\min Mk}(\varepsilon_i)}^{\theta_{\max Mk}(\varepsilon_i)} \cos \theta d\theta + \int_0^{\varepsilon_i} j_{v\in Ak}(\varepsilon) d\varepsilon \int_{\theta_{\min Ak}(\varepsilon_i)}^{\theta_{\max Ak}(\varepsilon_i)} \cos \theta d\theta \right),$$

де Z_k – число компонентів поверхні, з якими можливе утворення нітридів,
 τ_{ϕ} – тривалість фази,
 ε_{WR} – функція зміни енергетичного параметра в залежності від зміни енергетичних та режимних параметрів процесу (енергетичні – напруга та густина струму залежно від часу $U(\tau)$, $j(\tau)$, режимні R – температура поверхні T , марка матеріалу, тиск газового середовища p , склад газового середовища),
 Z_{ϕ} – кількість фаз в циклі,
 $\tau_{\phi f}$ – тривалість певної фази циклу,
 $\Phi_{\varepsilon\theta}$ – проміжна функція,
 $j_{v\in Mk}(\varepsilon_i)$ – складова відносного розподілу молекулярних часток азоту (числа молекулярних часток, які володіють енергією в діапазоні $\varepsilon_i - \varepsilon_i + \Delta\varepsilon$, віднесене до загального числа іонів) стосовно певного компонента поверхні k ,
 $j_{v\in Ak}(\varepsilon_i)$ – аналогічно, відносного розподілу атомарних часток стосовно того ж елемента поверхні k ,
 $\theta_{\min Mk}$, $\theta_{\max Mk}$, $\theta_{\min Ak}$, $\theta_{\max Ak}$ – граничні значення кутових параметрів, які забезпечують обмеження часток енергії рівня ε_i , переданих частці поверхні і достатніх для утворення нітриду сорту k .

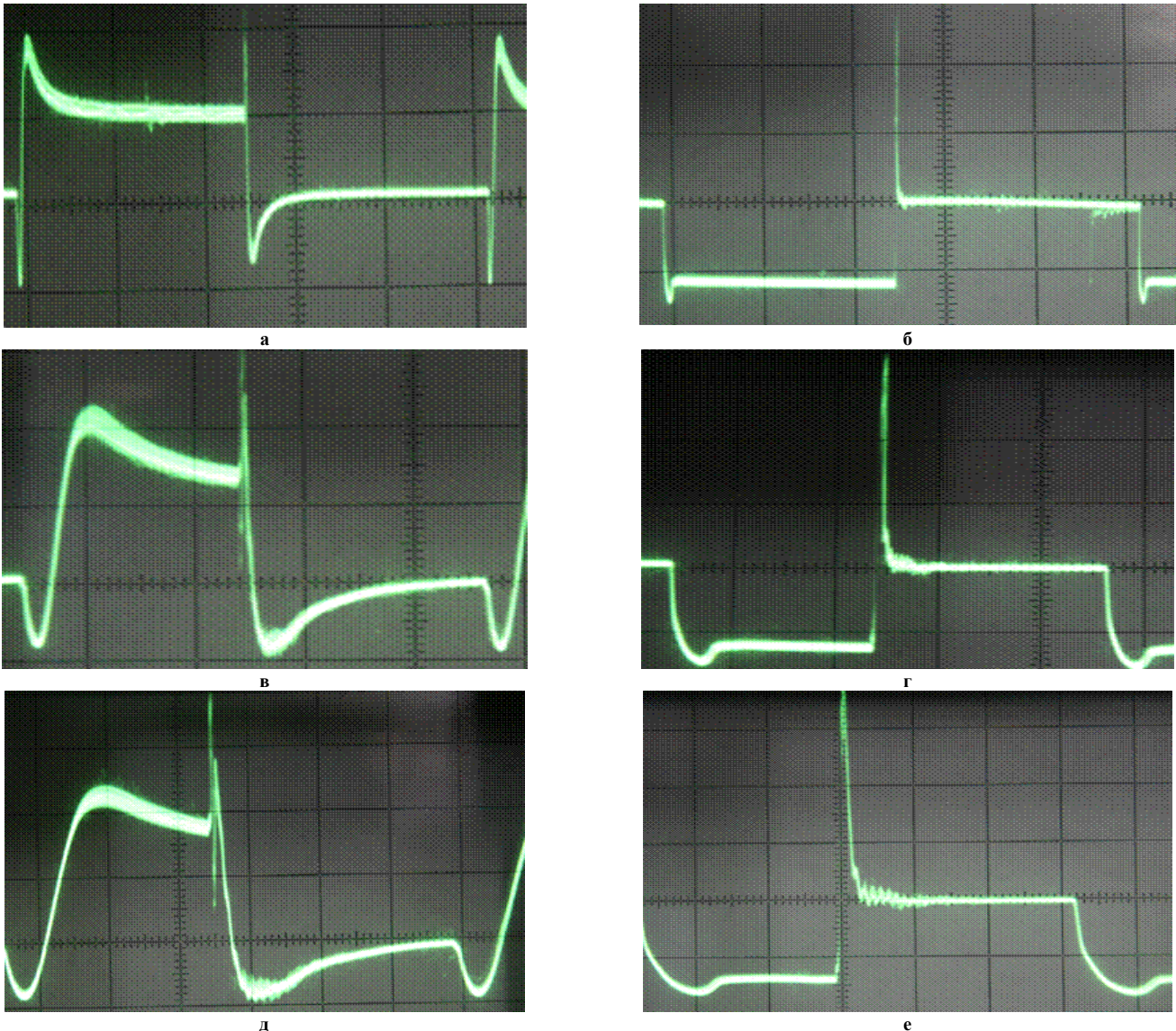


Рис. 2. Осцилограми зміни енергетичних параметрів в режимі мультипроцесного циклічно комутованого розряду: а – струм в камері, частота 1 кГц, б – напруга на електродах камери, частота 1 кГц, в – струм в камері, частота 5 кГц, г – напруга на електродах камери, частота 5 кГц, д – струм в камері, частота 8 кГц, е – напруга на електродах камери, частота 9 кГц

Методика визначення граничних значень куткових параметрів як для молекулярних, так і атомарних компонентів азоту детально викладена в [1–3].

Закономірності зміни напруги та густини струму в часі як головних енергетичних параметрів технологічного режиму для основних варіантів фаз циклів детально досліджено в [4–7]. З викладеного в цих роботах матеріалу слідує, що закони зміни в часі напруги та густини струму $U(\tau)$, $j(\tau)$ складні, з чого можна прийти до висновку про малу ймовірність аналітичного визначення динамічного енергетичного фактора утворення нітридів, насамперед у зв'язку зі складністю інтегрування виразів, що входять у вище приведену формулу. З цієї причини більш перспективним для практичного використання слід вважати методику пошарового аналізу процесу формування динамічного енергетичного фактора, принцип якої детально викладено в [1–3]. Головною особливістю цієї методики є штучне розбиття діапазонів часу, відносного енергетичного спектру на певну кількість шарів (діапазонів енергії), визначення для кожного інтервалу необхідних характеристик, поступове формування динамічного енергетичного фактора як суми складових, визначених для окремих шарів.

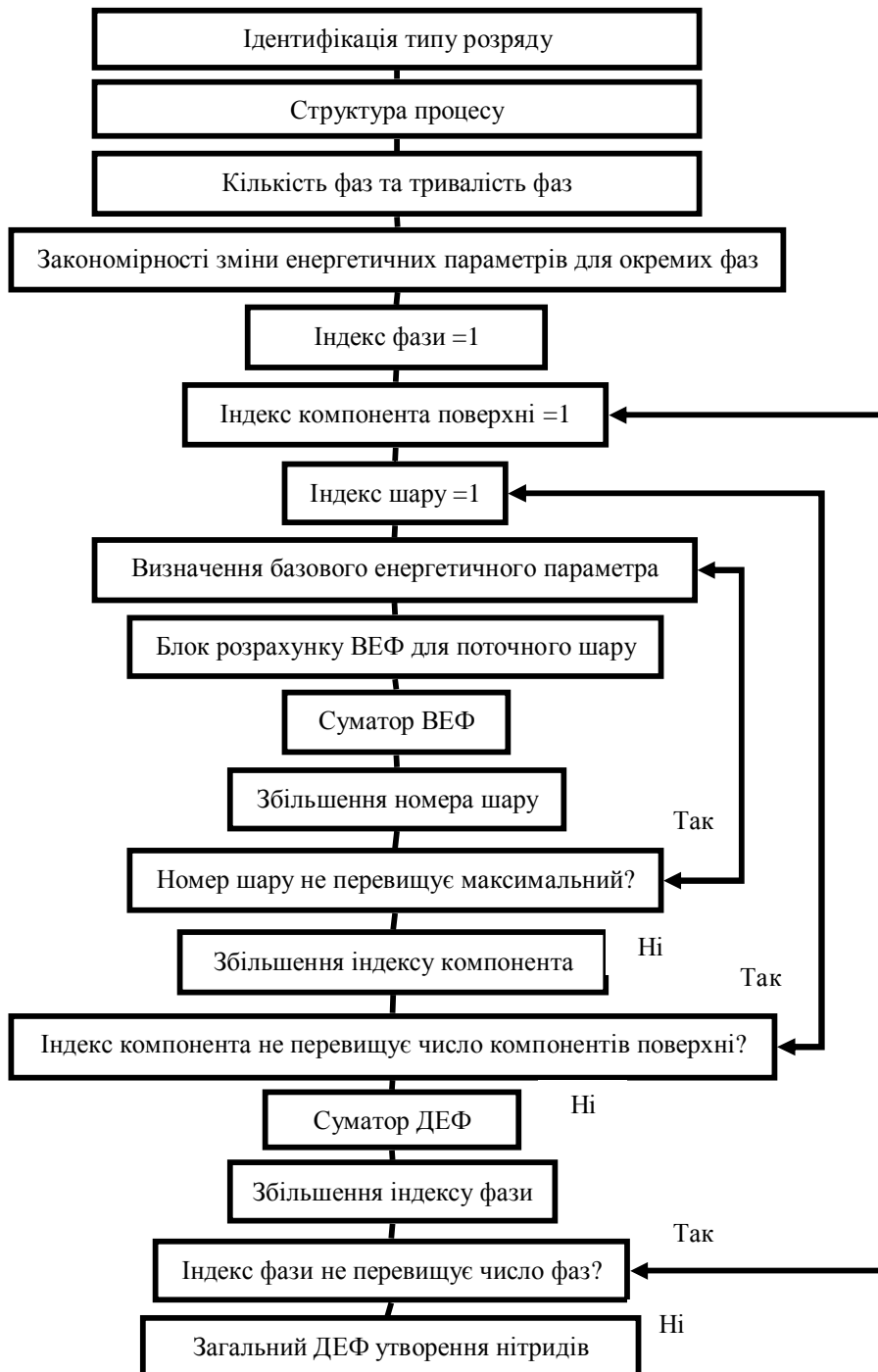


Рис. 3. Алгоритм розрахунку динамічного енергетичного фактора утворення нітридів

На рис. 2 приведено реальні осцилограми зміни напруги та струму в розрядній камері для найбільш складного в процедурі по визначенню динамічного енергетичного фактора утворення нітридів циклічно

комутованого процесу. Рис. 2 підтверджує теоретичні висновки, які наведені в роботах [4–7], стосовно закономірностей зміни в часі напруги на електродах розрядної камери та густини струму в ній, а також щойно викладені стосовно складності аналітичного оперування цими залежностями при розрахунку динамічного енергетичного фактора утворення нітридів.

Насамперед рис. 2 підтверджує тезу про складність форми електричних характеристик розряду: струму в розрядній камері та напруги на електродах. Крім ділянок з відносно стабільними значеннями цих параметрів (стаціонарні фази) мають місце ділянки з перехідними процесами: фази включення та виключення розряду. З наведених рисунків також слідує висновок, що тривалість перехідних процесів не залежить від частоти, оскільки постійна часу ([4–7]) формується тільки параметрами самої розрядної камери (її опором, ємністю та індуктивністю). Звідси слідує висновок, що при збільшенні частоти вплив нестационарної частини циклу на процес формування поверхневого шару більш суттєвий, оскільки тривалість цієї фази відносно тривалості циклу зростає. Для оцінки значущості врахування перехідних процесів додамо, що розмір великої клітки по вертикалі відповідає 1 А на осцилограмах струму або 500 В на осцилограмах напруги.

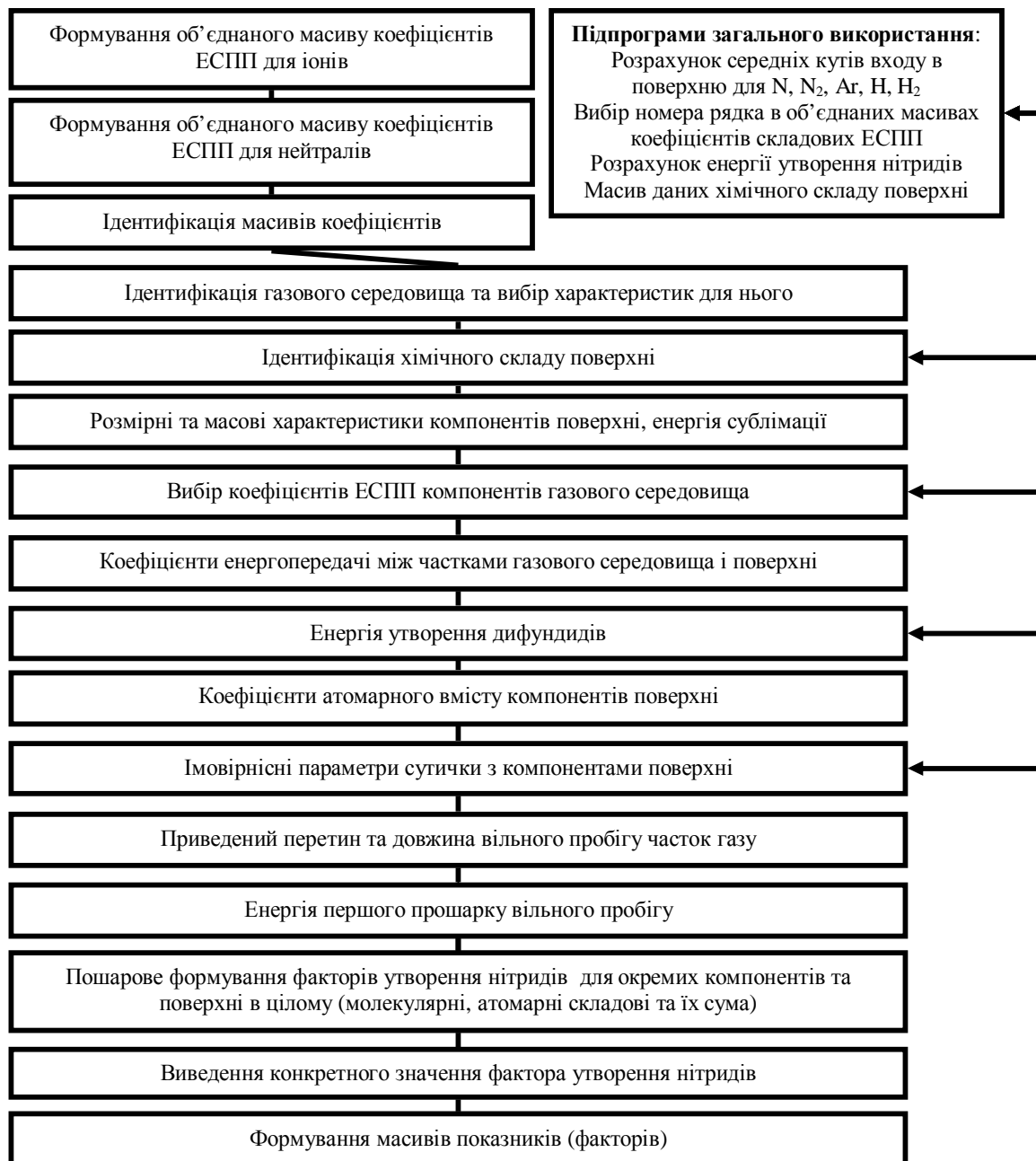


Рис. 4. Алгоритм розрахунку ВЕФ для поточного шару

Загальні принципи алгоритмів розрахунку динамічного енергетичного фактора утворення нітридів на металевій поверхні зводяться до наступного. В першу чергу, ідентифікується тип розряду згідно з наведеною вище класифікацією. Далі формується його структура (типи фаз, їх число та тривалість). Послідовно для всіх фаз проводиться розбивка на певну кількість шарів (інтервалів часу). Згідно з законом

зміни енергетичних параметрів для цього ж проміжку часу спочатку як вихідні характеристики розраховуються значення цих енергетичних параметрів, потім в ядрі алгоритму визначається ВЕФ як для окремих компонентів, так і для всього газового середовища в цілому. Таким чином поступово формується ДЕФ для певної фази, причому з врахуванням вагомості цієї фази в загальному циклі обробки. В аналогічній послідовності визначається ДЕФ для кожної фази і для всього циклу обробки. Оскільки структура циклу обробки для кожного окремого типу розряду різна, то необхідно встановити принцип формування ДЕФ таким, щоб результати розрахунку для різних типів процесів можливо було б порівнювати не тільки якісно (кращі чи гірші умови для утворення нітридів), але і в якійсь мірі кількісно. Ця передумова в певній мірі може виконуватись, якщо кожна з фаз буде враховуватись з огляду на співвідношення тривалості окремих фаз до загальної тривалості типового структурного елемента обробки, в якості котрого вибирається цикл зміни енергетичних факторів розряду. В цьому сенсі певну складність може становити аналоговий мультифазовий процес, але в основному для випадку, коли окремі фази або блоки фаз не повторюються більш-менш однотипово. Ця умова в принципі автоматично може забезпечуватись, якщо врахувати, що в основу закону зміни енергетичного параметра буде покладена певна закономірність, тобто аналоговий мультифазовий процес завжди є сукупністю типових блоків фаз. Загальний алгоритм розрахунку динамічного енергетичного фактора утворення нітридів показано на рис. 3.

Основу розрахунку динамічного енергетичного фактора утворення нітридів становить блок розрахунку відносного енергетичного фактора для поточного шару, алгоритм якого показано на рис. 4.

Висновок. Викладений матеріал становить основу для розробки програмного продукту по розрахунку аналітичних показників, що характеризують процес утворення нітридів при довільному характерові зміни енергетичних параметрів технологічного режиму.

Література

1. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / Пастух И. М. – Харьков : Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.
2. Пастух І. М. Фізико-технічна обробка поверхні металів без водневим азотуванням в тліючому розряді : дис. ... докт. техн. наук : 05.03.07 / Пастух Ігор Маркович. – К., 2008. – 675 с.
3. Пастух І. М. Аналітичні критерії утворення нітридів при азотуванні в тліючому розряді з нестаціонарним живленням / І. М. Пастух, М. В. Лук'янюк, В. О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 25–33.
4. Пастух І. М. Вихідні положення визначення електричних характеристик при азотуванні в тліючому розряді з нестаціонарним живленням / І. М. Пастух, М. В. Лук'янюк, В. О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 1. – С. 7–10.
5. Пастух І. М. Перехідні процеси вмикання струму в установці для азотування в тліючому розряді з нестаціонарним живленням / І. М. Пастух, М. В. Лук'янюк, В. О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 3. – С. 11–15.
6. Пастух І. М. Зміна напруги при вмиканні струму в установці для азотування в тліючому розряді з нестаціонарним живленням / І. М. Пастух, М. В. Лук'янюк, В. О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 4. – С. 7–12.
7. Пастух І. М. Процес розмикання струму в установці для азотування в тліючому розряді з нестаціонарним живленням / І. М. Пастух, М. В. Лук'янюк, В. О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 5. – С. 221–225.

Надійшла 20.1.2013 р.
Статтю представляє: д.т.н. Пастух І.М.

ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПУЛЬСУЮЧИМ РОБОЧИМ ТІЛОМ НЕЗАЛЕЖНО ВІД ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ. ПОВІДОМЛЕННЯ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МЕХАНІЗМІВ ТА НАПРЯМКІВ СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ЛОКАЛІЗОВАНОЇ ДІЇ

Наведено аналіз конструкцій обладнання з коливанням робочого тіла та проаналізовано можливість застосування його у різних технологіях. Визначено основні напрями створення конструктивних та технологічних схем вібраційних машин різного технологічного призначення.

Ключеві слова: механізми з рідинною ланкою, механічні системи пульсацій робочого тіла, імпульсне обладнання.

The analysis of structures equipment from fluctuations in the working fluid and analyzed the possibility of using it in different technologies. Main directions for creating constructive and technological schemes vibration machines of various technological purposes

Keywords: mechanisms with a liquid link, mechanical systems of pulsations of working body, impulsive equipment.

Вступ

У багатьох галузях промисловості усе більш широке застосування знаходять вібраційні технологічні процеси, у яких використовуються багатофазні середовища. Це можуть бути розплави металів, скла й полімерів, суспензії твердих часток і газових пухирців у рідині, дрібнодисперсні суспензії крапель у газоподібному чи рідкому середовищі і т.п.

При здійсненні процесів, зв'язаних з необхідністю рівномірного розподілу різних фаз у рідкій основі (одержання композитів) або їхньої сепарації з рідини (дегазація і флотаційне збагачення), істотного значення набуває можливість прогнозування реакції таких систем на різного роду зовнішні періодичні впливи. Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у багатофазних середовищах [1], підданих керованим вібраційним впливам, багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і при розробці й реалізації принципово нових технологічних прийомів, наприклад, мийка та очистка від технологічних забруднень, зміцнення інструменту з метою підвищення періоду його стійкості, зняття облою та задирок з деталей, які легко деформуються знезараження води та зміни її властивостей, біологічної активації.

У ряді промислових технологій застосовуються механізми та обладнання для вібраційного, гідродударного або імпульсного впливу на рідке середовище з метою інтенсифікації процесу. Розглянемо їх практичне використання, принцип дії конструкцій, проаналізуємо діапазон технологічних параметрів такого обладнання, можливість застосування у інших технологіях та недоліки. Останнім часом широко застосовується пульсуюче перемішування та перемішування з використанням звукових і ультразвукових коливань. В усіх цих випадках, звичайно, відбувається безпосередня передача механічної енергії від джерела зовнішніх збурень до середовища, яке оброблюється, що значно підвищує продуктивність технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [2] наводяться результати експериментальних досліджень можливостей використання динамічних властивостей нелінійної коливальної системи рідина-газ, що виникає під впливом керованих зовнішніх періодичних вібрацій і є стійкою лише в умовах резонансу. Саме резонансний характер існування таких систем дозволяє ефективно використовувати їхні динамічні властивості для посилення механічних коливань.

Такого роду нелінійні явища й ефекти, які спостерігаються в багатофазних середовищах при вібраційних впливах, варто враховувати при розробці різних вібраційних машин, що дозволить порівняно простими засобами досягти значних перемінних механічних зусиль і забезпечити інтенсивне перемішування різних фаз багатофазного середовища при виконанні технологічних процесів [3].

Авторами [2] під час проведення експериментальних досліджень застосовували вібростенди типів ВЭДС-400А, ВЭДС-100, ВЭДС-10 різної потужності, що дозволяють збуджувати періодичні коливання в одному напрямку, а при використанні додаткового оснащення – коливальний рух навколо двох взаємоперпендикулярних осей. Ці вібростенди забезпечують коливання в діапазоні частот від 5 Гц до 5 кГц при прискоренні до 25g.

Моделями слугували різні циліндричні і еліптичні оболонки з прозорого оргскла, заповненні робочою рідиною, в якості якої приймалися водопровідна вода, трансформаторне масло, гліцерин.

Комплекс вимірювальної апаратури складався з осцилографів, підсилювачів, датчиків вимірювання прискорення, амплітуди і частоти вібрацій.

До основних факторів, що впливають на поведінку багатофазного середовища при вібраційних впливах, відносяться величина і закон розподілу гідродинамічного тиску в ній [4].

У ряді випадків, наприклад при дослідженні режимів вібраційного перемішування і процесів

теплообміну, фіксується також постійна складова гідродинамічного тиску, виникнення якої обумовлено тим, що при великих вібраційних впливах газорідина система, власне кажучи, являє собою нелінійну коливальну систему.

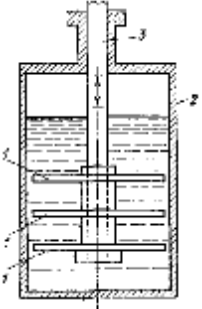
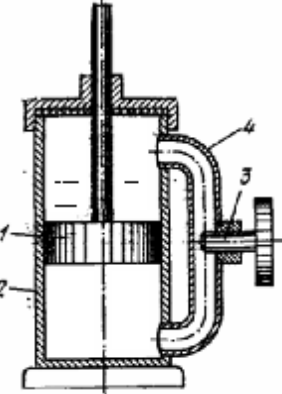
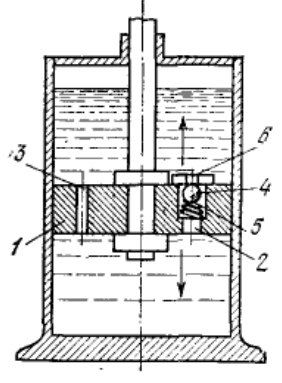
Але вищеописане обладнання застосовується для проведення експериментальних досліджень як лабораторні стенди. Створення технологічного обладнання ускладнюється завдяки значним динамічним навантаженням на елементи конструкції, малим ресурсом роботи та низькою міцністю конструктивних складових на частотних режимах від 200 Гц до 450 Гц та значних прискореннях.

З роботи [5] відомі гідравлічні виконавчі механізми з рідинним робочим тілом, яке є демпфером. Конструктивно вони складаються з циліндра, штока, який може переміщатися під дією сили, та поршня або дисків.

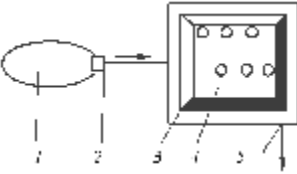
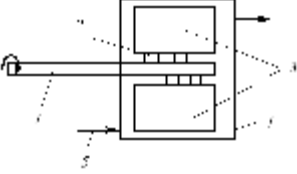
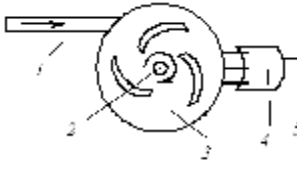
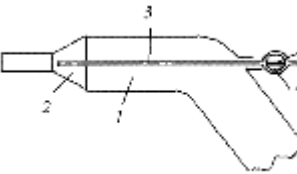
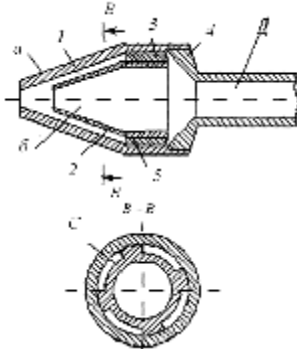
Їх основне призначення – гасіння коливань при переміщенні робочих механізмів. Основні конструкції показані на схемах 1– 3 табл. 1.

Таблиця 1

Аналіз механізмів з рідинною ланкою

№ схеми	Механізми з рідинною ланкою	Практичне використання	Характеристика технологічних параметрів	Аналіз застосування у інших технологіях та недоліки
1		Гідравлічний поршневий катаракт Діаметр дисків менше діаметра циліндра 2. При русі штока 3 уверх або униз рідина гальмує рух штока	Значна амплітуда переміщення штоку при низьких частотах коливань до 1 Гц.	Можливо застосовувати тільки як демпфер
2		Поршневий демпфер регулятор з змінною силою гальмування При русі поршня 1 у циліндрі 2 з рідиною виконується гальмування, для регулювання якого передбачено гвинт 3 у перепускній трубці 4, яка з'єднує частини циліндра	Значна амплітуда переміщення штоку при низьких частотах коливань до 1 Гц.	Можливо застосовувати тільки як демпфер
3		Гідравлічний кульковий демпфер В поршні 1 є отвори 2 та 3. В отворі 2 закладено кульку 4. При русі поршня 1 уверх кулька 4 під дією сили опору рідини відтискає пружину 5 і відкриває отвір 6. При русі поршня 1 униз кулька 4 закриває отвір 6. Таким чином здійснюється різна швидкість руху поршня уверх і униз	Значна амплітуда переміщення штоку при низьких частотах коливань до 1 Гц.	Можливо застосування у технології зміни властивостей води при визначенні певного діапазону частот коливань та амплітуди коливань

Аналіз конструкцій імпульсного обладнання

№ схеми	Генератори імпульсних струменів	Практичне використання	Характеристика технологічних параметрів	Аналіз застосування у інших технологіях та недоліки
1		Клапанного типу: 1 – джерело тиску; 2 – магістраль; 3 – робочі механізми з набором каналів; 4 – система клапанів; 5 – випускний патрубок. Застосовується в устаткуванні для пожежогасіння.	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Потужність приводу до 10 кВт.	Можливо застосування в устаткуванні для мийки виробів. Швидке зношування клапанної системи миючим розчином.
2		Поршневого типу: 1 – приводний вал; 2 – поршневі або плунжерні пари; 3 – робочі камери; 4 – робочий пристрій із системою гідравлічних каналів; 5 – впускний патрубок. Застосовується в устаткуванні для пожежогасіння.	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Потужність приводу до 10 кВт. Частота коливань до 1 Гц.	Можливо застосування в устаткуванні для мийки виробів. Швидке зношування плунжерної системи миючим розчином.
3		Роторного типу: 1 – патрубок; 2 – приводний вал; 3 – ротор із робочими камерами; 4 – робочий пристрій із системою гідравлічних каналів; 5 – патрубок. Застосовується в устаткуванні для пожежогасіння.	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Потужність приводу до 10 кВт. Частота коливань до 10 Гц	Можливо застосування в устаткуванні для мийки виробів. Наявність додаткового приводу вала й складність конструкції
4		Гідромонітор з повітряним пульсатором: 1 – труба; 2 – насадок; 3 – труба для повітря; 4 – переривач; 5 – канал. Застосовується в устаткуванні для мийки виробів	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Потужність приводу до 10 кВт.	Можливо застосування в устаткуванні для створення газорідних потоків. Наявність додаткового приводу переривання потоку.
5		Імпульсний насадок з пружинним клапаном: 1 – зовнішній патрубок; 2 – центральний патрубок; 3 – клапан; 4 – труба; 5 – пружина. Застосовується в устаткуванні для мийки виробів	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Частота пульсацій виникає за рахунок автоколивань клапана. Потужність приводу до 5 кВт.	Можливо застосування в устаткуванні для руйнації твердих порід одиничними струменями. Складність регулювання частоти коливань

Генератори імпульсних струменів

Автори в роботі [6] приводять класифікацію та приклади основних типів генераторів імпульсних струменів залежно від принципу дії й способу генерування струменя робочого середовища. Умовно їх можна розділити на основні типи: генератори імпульсних струменів клапанного типу, поршневого типу,

роторного типу.

Зазначимо, що такий поділ на групи є умовним, оскільки багато пристроїв поєднують у собі різні принципи дії. Найповніше представлені генератори імпульсних струменів клапанного типу, принципова схема роботи яких представлена на схемі 1 табл. 2.

До генераторів імпульсних струменів клапанного типу відносяться пристрої [7– 9], принцип роботи яких полягає в послідовному відкритті й закритті клапанів або групи клапанів з пропусканням при цьому певної порції робочого середовища при заданому тиску. Перевагами генераторів імпульсних струменів клапанного типу є відсутність додаткового приводу, крім робочого для створення тиску середовища. Такі генератори мають нескладну конструкцію і технологічні у виготовленні.

До генераторів імпульсних струменів поршневого типу [9] віднесені пристрої, у яких робочий тиск рідини створюється за допомогою поршневих або плунжерних блоків, що приводяться в дію обертовим кулачковим валом (схема 2 табл. 2). Такі генератори, крім гідравлічних каналів і приводного вала, мають корпус з встановленими в ньому блоками циліндрів, а також поршні або плунжери, що утворюють у блоках циліндрів робочі камери. При обертанні приводного вала кулачки діють на поршні, створюючи пульсуючий об'єм рідини і подається в камери робочого пристрою, що формує пульсуючий струмінь. Пристрої даного типу відрізняються від клапанних генераторів тим, що робоче середовище подається в генератор не під постійним тиском, а робочий тиск середовища нагнітається самим пристроєм. До основних переваг генераторів даного типу можна віднести те, що існує можливість створення більш високих тисків робочого середовища на відміну генераторів клапанного типу. Недоліком є обов'язкова наявність додаткового приводу вала й складність конструкції.

Основною відмінною рисою генераторів імпульсних струменів роторного типу є наявність ротора й статора, що відіграють головну роль у процесі нагнітання тиску й створення пульсуючого струменя (схема 3 табл. 2). При обертанні ротора із замикачами рідина надходить у робочу порожнину гідропульсатора через всмоктувальний отвір і нагнітається через отвір у відповідний виконавчий орган для створення імпульсу тиску. При обертанні ротора отвори періодично відкриваються й закриваються, чим створюється тиск й періодичне витікання рідини. Перевагами генераторів даного типу є можливість створення частоти пульсації до 10 Гц при досить високій енергії вихідного струменя. Недоліком є складність конструкції (додатковий механізм переривання потоку) та швидке зношування систем розподілу потоку.

Гідромонітори та імпульсні насадки

До окремої групи відносяться генератори імпульсів, що використовують принцип гідравлічного удару.

Імпульсний тиск рідини може бути створений механічними, гідродинамічними та іншими способами [10– 12]. Для цього може бути використаний оптичний квантовий генератор (лазер), випромінювання котрого фокусується в рідині за допомогою спеціальної оптичної системи.

На даний час в установках для очистки використовуються різні конструкції гідромоніторів та насадків, які можна класифікувати за принципом дії:

- 1) з циклічним підводом додаткової енергії;
- 2) з повільним накопиченням енергії рідини в системі та також швидким її викиданням;
- 3) з використанням енергії гідравлічного удару рідини в системі;
- 4) з періодичним направленням потоку рідини по каналах.

Для створення пульсуючих струменів розроблено пристрій (схема 4 табл. 2) із циклічним використанням енергії повітря [13]. У трубі вздовж її осі вмонтована порожниста труба, один кінець якої розміщений у місці з'єднання труби з насадком, а другий – виведений за межі труби і через переривач з'єднаний з атмосферою. Рідина під тиском надходить у трубу 1 і виходить із неї через насадок 2. У звуженні насадка виникає розрідження, в результаті чого при відкритому отворі переривача 4, через трубу 3, засмоктується повітря. При безупинному обертанні пробки 5 порції повітря, що періодично засмоктуються, призводять до утворення пульсуючого струменя. Зміна числа обертів пробки дозволяє змінювати частоту пульсації струменя.

Для створення пульсуючих струменів із використанням енергії гідравлічного удару рідини в системі розроблені спеціальні насадки [14]. Вони відрізняються тим, що вихідне сопло, виконане у вигляді двох співвісних патрубків, що утворюють кільцевий канал. На внутрішньому патрубку встановлений клапан, що періодично перекриває кільцевий канал. Це призводить до виникнення гідравлічного удару, що супроводжується різким підвищенням тиску та витіканням через насадок рідини з підвищеною швидкістю.

Насадок (схема 5 табл. 2) відрізняється конструктивним виконанням клапана 3, що перекриває отвори, за допомогою яких збільшується або зменшується витрата через насадок. Клапан 3 при певній швидкості потоку зміщується вліво, стискає пружину 5 та перекриває чотири пазових отвори (с), внаслідок чого відбувається гідравлічний удар із підвищенням швидкості витікання рідини через насадок. Після розповсюдження ударної хвилі до розрядника та її відбиття хвиля пониженого тиску дійде до клапана та пружина 5 відведе клапан у початкове положення – рідина знову піде через кільцеву порожнину (а), процес повториться. Таким чином, у підвідній трубі по чергово виникають гідравлічні удари, що створюють пульсуючий струмінь, який витікає з насадка.

Для очищення виробів від забруднень у США запатентований засіб імпульсного очищення й пристрій для формування пульсуючих струменів із періодичним спрямуванням рідини в канали [15, 16].

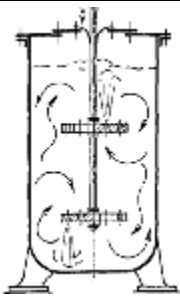
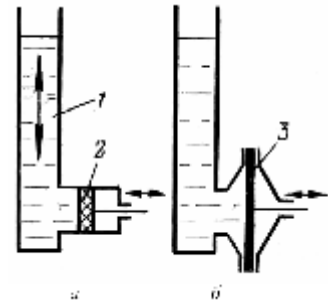
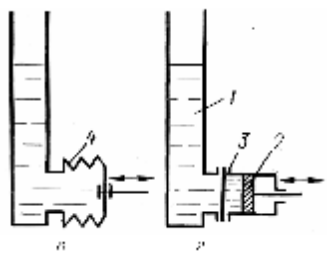
Процес очищення полягає в тому, що відносно постійний і об'ємний струмінь рідини, який знаходиться під високим тиском, багаторазово спрямовують через трубопроводи до сопел, створюючи тим самим переривчасті струменеві імпульси з високою спроможністю до очищення. Таким чином, аналіз конструкцій імпульсного обладнання доводить: не бажано використовувати в обладнанні рухомі механічні системи переривання потоку, оскільки вони швидко зношуються.

Механічні системи пульсації робочого тіла

Відомі конструкції механічних систем пульсації робочого тіла, які застосовуються в хімічній технології для процесів перемішування (схема 1 табл. 3) [17] та екстракції елементів з розчинів (схема 2, 3 табл. 3) [18].

Таблиця 3

Аналіз конструкцій систем пульсації

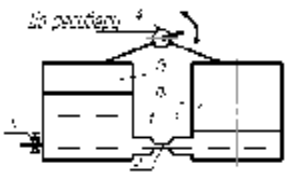
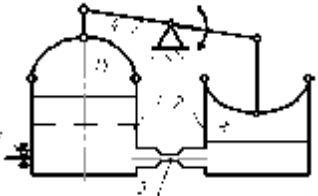
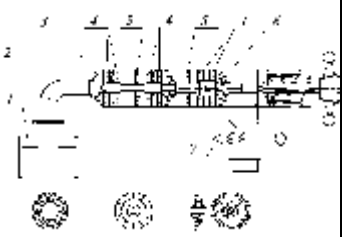
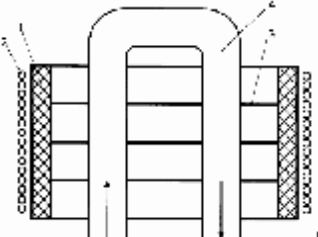
№ схеми	Механічні системи пульсації	Практичне використання	Характеристика технологічних параметрів	Аналіз застосування у інших технологіях та недоліки
1		Вібраційна колонна для змішування хімічних компонентів При коливанні штока та дисків виникають пульсуючі струмені рідини, які змішують хімічні компоненти.	Потужність 5 кВт. Велика маса при низькій жорсткості диску	Можливо застосування у технології зміни властивостей води. Значні динамічні навантаження.
2		Пульсатор тиску поршневий (а): 1 – колонна; 2 – поршень. Пульсатор тиску мембранний (б): 3 – мембрана. Використовують у лабораторному та дослідному обладнанні екстракції елементів з розчину.	Габарити пульсаторів залежать від розмірів колони. Частота коливань від 0,3 Гц до 4 Гц. Амплітуда коливань від 5 мм до 15 мм.	Зношування ущільнень при контакті з агресивними рідинами. Малий ресурс внаслідок нерівномірного зношування мембрани.
3		Пульсатор тиску сифонного типу (є): 4 – сифон. Пульсатор тиску комбінований (з): 1 – колонна; 2 – поршень; 3 – мембрана. Використовують у лабораторному та дослідному обладнанні екстракції елементів з розчину.	Габарити пульсаторів залежать від розмірів колони. Частота коливань від 0,3 Гц до 4 Гц. Амплітуда коливань від 5 мм до 15 мм.	Складні у виготовленні та мають малий ресурс роботи. Постійний контроль за постійністю об'єму рідини між мембраною та поршнем

Конструкції механічних систем пульсації рідини найбільш прийнятні для застосування в вібраційному обладнанні але для реалізації імпульсних струменів необхідно застосовувати насадки спеціальної форми з комплексом досліджень взаємозв'язку конструктивних параметрів з параметрами роботи приводу.

Устаткування для впливу на властивості робочого тіла та зміни його характеристик

Відомі конструкції технологічного обладнання для впливу на властивості робочого середовища та зміни його характеристик: горизонтального розташування з пневматичним буфером (схема 1,2 табл. 4) [19], кавітаційно-магнітний активатор (схема 3 табл. 4) [20], пристрій для магнітної обробки рідини (схема 4 табл. 4) [19]. Аналіз науково-технічної інформації, а також досвід використання кавітаційних пристроїв в харчовій промисловості дозволяє стверджувати, що з усіх відомих видів гідромеханічної дії на середовище, кавітаційна дія найбільш ефективна з одночасним застосуванням магнітного поля. В останні роки саме така обробка харчових середовищ стала основою розвитку цілого напрямку в промисловості. Але те, що більшість робіт має переважно якісний характер, свідчить про необхідність продовження і поглиблення

Аналіз конструкцій устаткування для зміни властивостей робочого тіла

№ схеми	Устаткування для зміни властивостей води	Практичне використання	Характеристика технологічних параметрів	Аналіз застосування у інших технологіях та недоліки
1		Кавітатор для багаторазової обробки води: 1,2 – ємкості; 3 – трубка; 4 – кран повітряний; 5 – кран зливний. Знезаражування води.	Прокачування рідини крізь горизонтальний насадок за допомогою реверса стисненого повітря. Частота коливань від 0,3 Гц до 1 Гц.	Значні енергетичні витрати. Контроль за постійністю об'єму газового буфера
2		Кавітатор для багаторазової обробки води: 1,2 – ємкості; 3 – трубка; 4 – важіль; 5 – кран зливний. Знезаражування води.	Прокачування рідини крізь горизонтальний насадок за допомогою газового буфера. Частота коливань від 0,3 Гц до 1 Гц.	Значні енергетичні витрати. Контроль за постійністю об'єму газового буфера.
3		Кавітаційно-магнітний активатор: 1 – перехідник; 2 – патрубок; 3 – дифузор; 4 – магнітна система; 5 – розетка; 6 – кавітатор; 7 – кавітаційне осердя. Зміна властивостей різноманітних рідин, які використовуються у харчовій промисловості.	Одночасний вплив гідродинамічної кавітації та магнітного поля на рідину. Потужність електродвигуна від 5 кВт до 12 кВт.	Підготовки рідинних сумішей для подальшої обробки у фармацевтичній промисловості. Велика енерговитрати та одноразовий вплив.
4		Магнітний активатор 1 – котушка; 2 – мідний провід; 3 – феромагнітні пластини; 4 – трубки. Оброблення робочого середовища магнітним полем для прискорення технологічних процесів ухімічних реакціях	Прокачування робочого середовища крізь магнітні котушки або крізь постійні магніти.	Зміна властивостей води та її характеристик. Невелика швидкість протікання рідини.

На основі аналізу властивостей об'єктів досліджень, основних закономірностей розглянутих процесів механічної дії на робоче тіло було обґрунтовано методи вдосконалення технологічних процесів та напрямки створення вібраційних машин локалізованої дії пульсуючих затоплених струменів з кавітаційними пухирцями для здійснення операцій гідродробозміцнення, мийки поверхонь, зняття облою та задирок, просочування, зміни властивостей робочого середовища в умовах вібраційного технологічного поля та пульсуючих струменів.

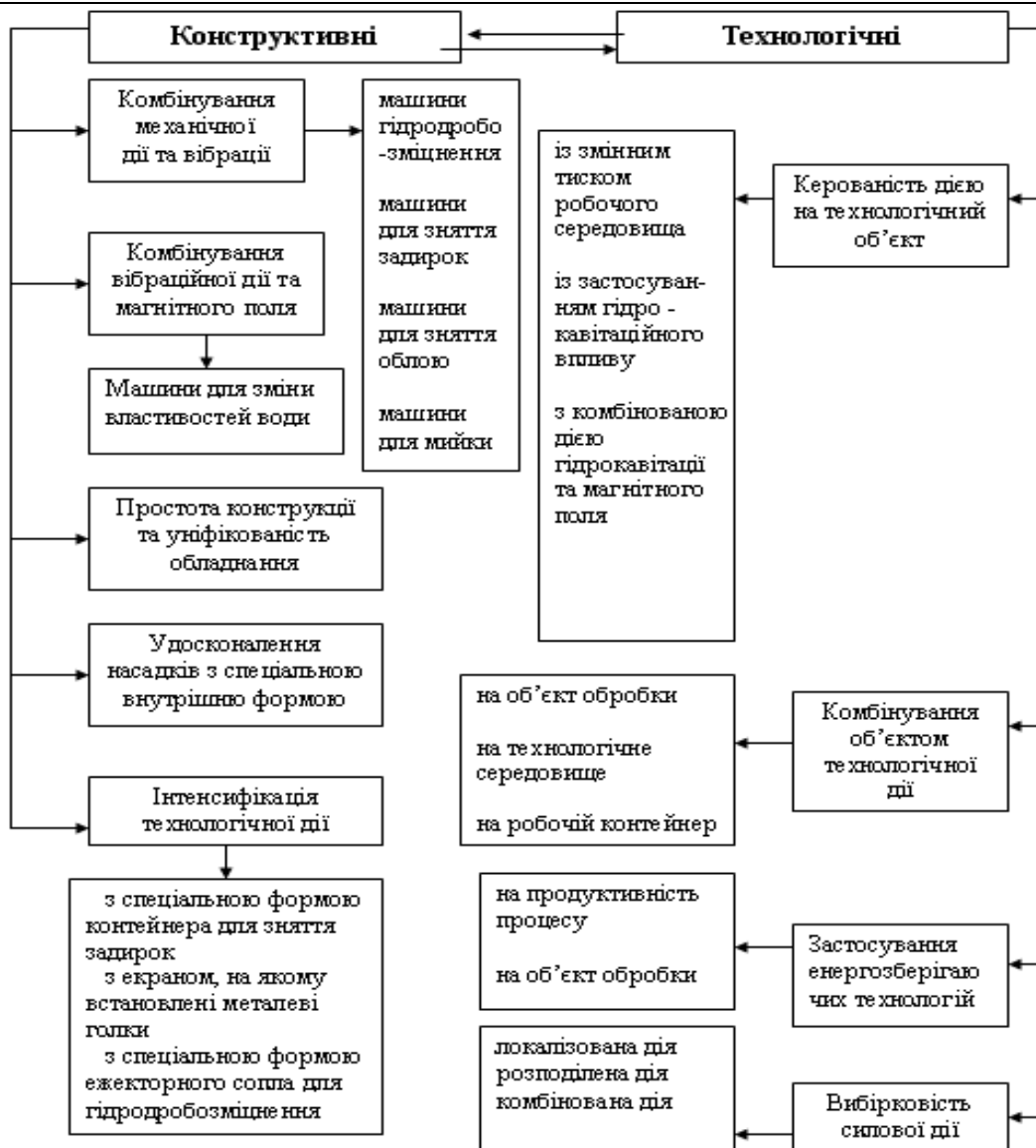


Рис. 1. Основні напрями створення конструктивних та технологічних схем вібраційних машин різного технологічного призначення

Метою даної роботи є створення наукових та методичних основ проектування вібраційного обладнання з пульсуючим робочим тілом на основі гідропульсатора для технологій де рідина виступає як інструмент або як об'єкт обробки. Для досягнення поставленої в роботі мети є необхідним: проведення комплексу експериментальних досліджень форм руху двофазного середовища, як у самому гідропульсаторі, так і при взаємодії з поверхнею, яка оброблюється; визначення залежності динамічних параметрів робочого тіла від параметрів коливань приводу обладнання та його конструктивних параметрів.

Це і зумовило необхідність постановки додаткових експериментів з впливу конструктивних параметрів та режимів роботи вібраційного приводу на тиск та швидкість робочого тіла, а також визначення впливу гідрокавітації та магнітного поля на властивості і характеристики води та її знезараження

Висновки

1. Проведений аналіз відомих досліджень показав, що основними параметрами, які впливають на хід означених технологічних процесів є: величина гідродинамічного тиску, миттєва та середня швидкість пульсації пульсуючого робочого тіла, виникнення процесу гідрокавітації у ньому, характер дії магнітного поля, вплив яких на робоче тіло вивчено явно недостатньо.

2. На основі аналізу конструкцій існуючого обладнання виявлено низький рівень їх енергоощадності, а деякі конструкції обладнання застосовуються лише у лабораторних умовах або мають невеликий термін працездатності.

3. З аналізу експериментальних та теоретичних положень запропоновано шляхи створення нових конструкцій вібраційних машин локалізованої дії пульсуючого робочого тіла для означених технологічних процесів. З аналізу фізичної сутності зміни властивостей води, запропоновано у вібраційних машинах застосовувати кавітаційний режим оброблення води з накладенням на пульсуючий струмінь постійного магнітного поля.

1. Блехман И. И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М. : Наука, 1964. – 412 с.
2. Ганиев Р. Ф. Динамика частиц при воздействии вибраций / Р. Ф. Ганиев, Л. Е. Украинский. – К. : Наукова думка, 1975. – 138 с.
3. Вибрации в технике : [справочник] : в 6 т. Т. 2: Колебания нелинейных механических систем / под ред. И. И. Блехмана. – М. : Машиностроение, 1979. – 351 с.
4. Траектории и равновесные уровни в вибрирующих столбах жидкости / [Л. Фостер, Д. Ботте, В. Барбин, П. Вахон] // Теоретические основы инженерных расчетов : труды амер. общества инж. мех. Серия Д. – 1968. – № 1. – С. 234–242.
5. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике: справочное пособие : в 7 т. Т. 6-7. Электрические механизмы. Гидравлические и пневматические механизмы / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1981. – [2-е изд., переработанное]. – 784 с.
6. Шкарабура Н. Г. Основные принципы генерирования импульсных потоков в гидравлических системах / Н. Г. Шкарабура, С.В. Стась // Промислова гідроліка і пневматика. – 2004. – № 1 (3). – С. 25–29.
7. Пат. 22916 Украина, МКИ F 15 В 21. Пневматический вибратор / М. Е. Иванов, Л. П. Томчук, И. Б. Матвеев, К. О. Кузнецов (Украина). – № 96031183; заявл. 27.03.96; опубл. 30.06.98, Бюл. № 3. – 3 с. : ил.
8. Пат. 12377 Украина, МКИ F 15 В 21/12. Генератор импульсов давления / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Р. Р. Обертюх, И. В. Севастьянов, Д. М. Климчук (Украина). – № 94097057; заявл. 26.09.94; опубл. 28.02.97, Бюл. № 1. – 3 с. : ил.
9. А. с. 1774078 СССР, МКИ³ F 15 В 21/12. Генератор пневматических импульсов / В. В. Скрипица (СССР). – № 4833347/29; заявл. 31.05.90; опубл. 07.11.92, Бюл. № 41. – 3 с. : ил.
10. Пат. 52671 Украина, МКИ F 15 В 21/12. Гидравлический генератор колебаний / А. Н. Гапонюк, О. Н. Гапонюк, В. О. Кузьмин (Украина). – № 99010494; заявл. 29.01.98; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1. – 3 с. : ил.
11. Баранов В. Н. Электродинамические и гидравлические вибрационные механизмы / В. Н. Баранов, Ю. Е. Захаров. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с.
12. А. с. 686766 СССР, Кл. 42к, 11/01. Устройство для промывки каналов в изделиях пульсирующим потоком жидкости / В.В. Шиганов (СССР). – № 894534/18– 04; заявл. 12.02.68; опубл. 23.06.69, Бюл. № 10. – 3 с. : ил.
13. А. с. 155784 СССР, Кл. 42к, 21/01. Гидромонитор с воздушным пульсатором / Е. А. Сигачев, В. Д. Колчанов (СССР). – № 178945/21– 08; заявл. 22.04.62; опубл. 23.08.63, Бюл. № 18. – 3 с. : ил.
14. А. с. 152433 СССР, Кл. 42к, 21/01. Насадка гидромонитора / А. В. Бричкин, В. Б. Потоцкий [и др.] (СССР). – № 167942/21– 08; заявл. 12.01.62; опубл. 24.02.63, Бюл. № 8. – 3 с. : ил.
15. Пат. 3360400 США, МКИ³ В 08 В. Method for power washing, surface reforming and the like / Dewey M. E. [et al.] (США); McGraw-Hill Inc. – № 721205; заявл. 09.04.66; опубл. 22.06.67; НКИ 355/68. – 3 с.
16. Пат. 3353545 США, МКИ³ В 08 В. Washing machine and valve therefor / Price P. N. [et al.] (США); McGraw-Hill Inc. – № 720587; заявл. 04.02.66; опубл. 10.03.67; НКИ 342/62. – 3 с.
17. Кожевников С. Н. Механизмы : [справочник] / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин; под ред. С. Н. Кожевникова. – 4-е [изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 784 с.
18. Карпачова С. М. Основы теории и расчета пульсационных аппаратов и пульсаторов / С. М. Карпачова, Л. С. Рагинский, В. М. Муратов. – М. : Атомиздат, 1981. – 224 с.
19. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора : [монографія] / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 386 с. : іл.
20. Федоткин И. М. Кавитация. Кавитационные энергетические аппараты и установки / И. М. Федоткин, С. И. Гулый. – К. : Арктур – А, 1998. – 130 с.

Надійшла 9.1.2013 р.
Статтю представляє: д.т.н. Гордєєв А.І.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОГО РЕДУКТОРА

Выполнен кинематический анализ новой конструкции импульсного редуктора, который позволяет передавать два импульса движения в течение одного оборота входного звена; исследованы кинематические характеристики редуктора.

Ключевые слова: механизм свободного хода, кинематика передачи, кулиса, эксцентрик.

The kinematics analysis of new construction of impulsive reductor which allows to pass two impulses of motion during one turn of entrance link has been fulfilled; kinematics characteristics of reductor have been investigated.

Keywords: mechanism of free motion, kinematics of transmission, side scene, eccentric person.

При реализации различных технологических процессов часто приходится получать небольшие скорости рабочего органа. Например, в обжарочных печах пищевой промышленности частота вращения обжарочного барабана не больше 7,5 об./мин. В обсерваториях при требовании непрерывного слежения за небесным телом рабочие скорости наблюдательных объективов имеют очень малые значения. Для обеспечения больших перепадов между угловыми скоростями используют многоступенчатые редукторы, состоящие из цилиндрических передач. Как правило, в общем машиностроении выпускаются максимум трехступенчатые редукторы, передаточное отношение которых не превышает 200. Для получения больших передаточных отношений используют комбинированные передачи, включающие в свой состав червячные ступени. Такие комбинированные передачи обеспечивают значение передаточного отношения до 500...600 единиц, однако потери на трение в них доходят до 32...45%. Как ранее отмечалось, в некоторых рабочих машинах, особенно в сканирующих устройствах, отслеживающих небесные тела и др., требуется получение значительно больших (более 2000) передаточных отношений. Использование для таких целей двухступенчатых червячных передач неэкономично из-за очень больших потерь на трение (85–90%). Применение таких редукторов на практике, особенно в настоящее время, в век нехватки энергоресурсов, весьма проблематично и нецелесообразно.

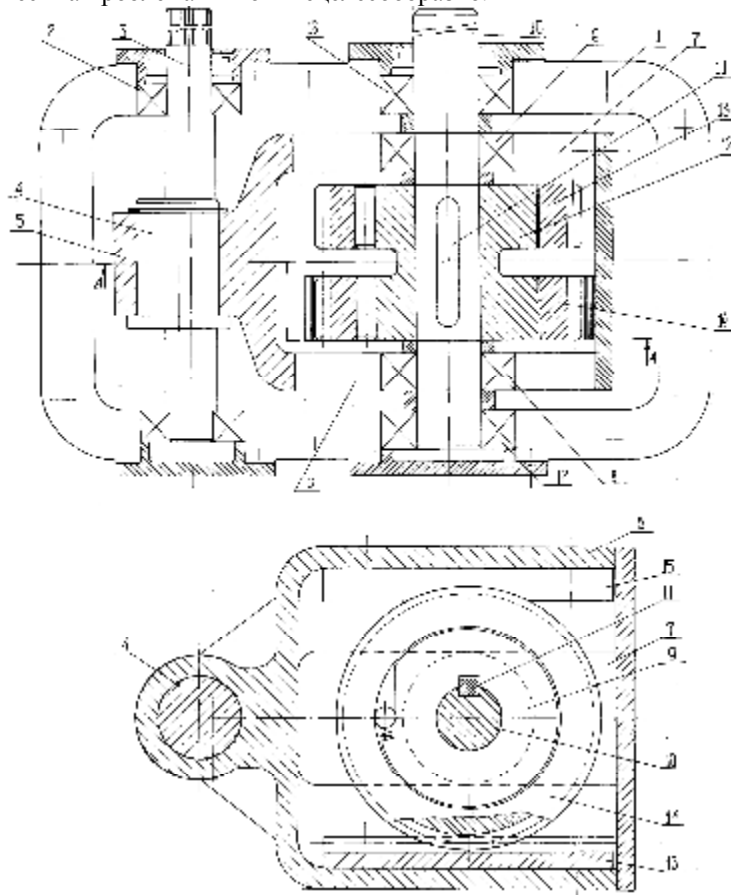


Рис. 1. Импульсный редуктор

Наиболее эффективными, с точки зрения компактности конструкции, малой металлоемкости, высокого значения коэффициента полезного действия, являются импульсные редукторы, позволяющие обеспечивать большие значения передаточного отношения [1].

Рассматриваемая конструкция импульсного редуктора [2] позволяет увеличить к.п.д. передачи, повысить надежность и долговечность. В состав исследуемого импульсного редуктора входят кулисный рычажный механизм, конструктивно взаимосвязанные с ним два зубчатых реечных механизма и два механизма свободного хода (МСХ) (рис. 1).

Конструкция импульсного редуктора состоит из корпуса 1, в котором на подшипниках 2 установлен ведущий вал 3. Ведущий вал выполнен как одно целое с эксцентриком 4, образующим шарнирное соединение с шатуном 5. Шатун выполнен в виде прямоугольной рамы, по бокам которой имеется два одинаковых пазы 6 и 7, образующих подвижное соединение с подшипниками 8 и 9 соответственно. Подшипники 8 и 9 жестко установлены на ведомом валу 10. На ведомом валу с помощью шпонки размещается

внутренняя обойма 12 МСХ. На внутренней обойме МСХ установлены две наружные обоймы 13 и 14, снабженные зубчатыми венцами. Наружные обоймы совместно с ведомым валом 10 установлены в средней прямоугольной части шатуна. Обойма 13 находится в зацеплении с зубчатой рейкой 15, а обойма 14 – с

зубчатой рейкой 16. Зубчатые рейки 15 и 16 жестко закреплены на шатуне в диаметрально противоположных направляющих относительно ведомого вала. Ведомый вал с помощью подшипников качения 17 и 18 установлен в корпус редуктора.

Вращательное движение от ведущего вала и эксцентрика передается шатуну. Шатун совершает плоскопараллельное движение по боковым пазам 6, 7 относительно подшипников 8, 9 и вращается относительно продольной оси ведомого вала. При продольном перемещении шатуна относительно подшипников зубчатые рейки 15 и 16 поворачивают венцы наружных обойм 13 и 14 в разных направлениях, так как они расположены диаметрально противоположно, и, если передача 15-13 выполняет рабочий ход, то передача 16-14 работает в холостом режиме. В связи с тем, что шатун осуществляет еще и колебательное движение относительно продольной оси вращения ведомого вала, то при вращении в одном направлении выполняется рабочий ход, то есть МСХ вращает ведомый вал, а в противоположном направлении – холостой ход. Таким образом, за один оборот ведущего вала ведомый вал получает два импульса, смещенных относительно друг друга, при условии, что угол качания шатуна незначителен.

Такое конструктивное исполнение импульсного редуктора увеличивает количество импульсов за один оборот ведущего вала, что приводит к уменьшению колебаний угловой скорости ведомого вала, тем самым к уменьшению неравномерности вращения ведомого вала.

Кинематическая схема импульсного редуктора представлена на рис. 2.

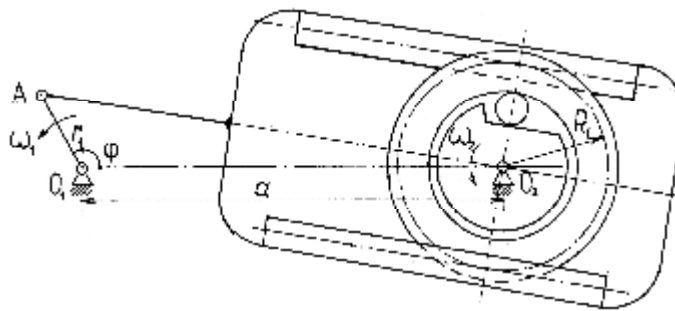


Рис. 2. Кинематическая схема импульсного редуктора

Функция положения сложного преобразующего механизма редуктора имеет вид

$$\Phi = [\eta - a + \sqrt{(a - \eta \cdot \cos \varphi)^2 + \eta^2 \cdot \sin^2 \varphi}] / R_1 \text{ при } 0 \leq \varphi \leq \pi ; \tag{1}$$

$$\Phi = 2 \cdot \eta / R_1 + [\eta - a + \sqrt{(a + \eta \cdot \cos \varphi)^2 + \eta^2 \cdot \sin^2 \varphi}] / R_1 \text{ при } \pi \leq \varphi \leq 2 \cdot \pi ,$$

где r_1 – длина кривошипа,
 a – межосевое расстояние,
 φ – угол поворота кривошипа,
 R_1 – радиус делительной окружности зубчатого венца наружной обоймы МСХ.

Исследование кинематики удобнее проводить при использовании относительных единиц. С этой целью введем следующие обозначения: $r = r_1/a$; $R = R_1/a$ – относительные длина кривошипа и радиус зубчатого венца наружной обоймы МСХ соответственно.

При изменении передаточного отношения редуктора в течение цикла интерес представляет величина передаточного отношения U_m , среднего за цикл. Его величину можно определить из соотношения $U_m = 2 \cdot \pi / \Phi_{\max}$, где Φ_{\max} – угол поворота ведомого вала за цикл без учета податливости МСХ. В данной конструкции угол Φ_{\max} включает в себя двойной импульс от рычажного механизма. Результаты численного анализа среднего передаточного отношения при различных размерах МСХ представлены в графическом виде на рис. 3.

Численный анализ кинематики показал, что кинематические характеристики механизма не зависят от межосевого расстояния кулисного механизма, а зависят только от соотношения размеров кривошипа и диаметра МСХ. Передаточное отношение рассматриваемого редуктора возрастает при уменьшении длины кривошипа и с возрастанием диаметра МСХ.

Функция изменения угловой скорости ведомого вала редуктора имеет вид:

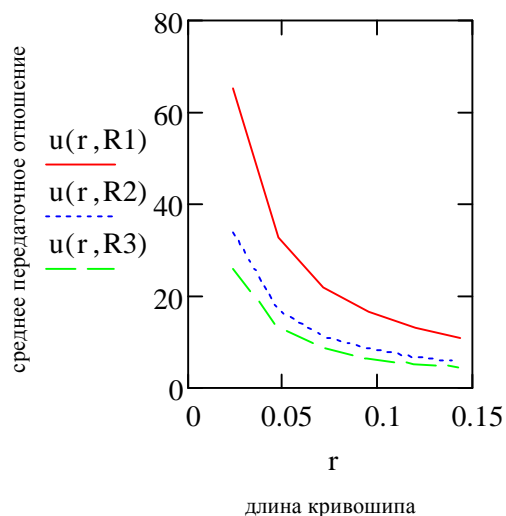


Рис 3. Изменение среднего за цикл передаточного отношения редуктора в зависимости от длины кривошипа при различных размерах МСХ (при $R_1=R1=0.1$ м; $R_1= R2=0.054$ м; $R_1= R3=0.04$ м)

$$\omega_2(\varphi) = \frac{\pm r \cdot \sin \varphi}{R \cdot \sqrt{1 \text{ m}^2 \cdot r \cdot \cos \varphi + r^2}} \quad (2)$$

Верхние знаки в (2) используются для вычисления $\omega_2(\varphi)$ при $0 \leq \varphi \leq \pi$, нижние знаки – при $\pi \leq \varphi \leq 2 \cdot \pi$.

Изменение углового ускорения можно определить из выражения

$$\varepsilon_2(\varphi) = \frac{\pm r \cdot (1 + r^2) \cdot \cos \varphi - r^2 \cdot (1 + \cos^2 \varphi)}{R \cdot \sqrt{(1 \text{ m}^2 \cdot r \cdot \cos \varphi + r^2)^3}}, \quad (3)$$

где знаки используются аналогично.

На рис.4 представлены графики изменения угловой скорости и углового ускорения ведомого вала при наиболее целесообразных размерах кривошипа и МСХ.

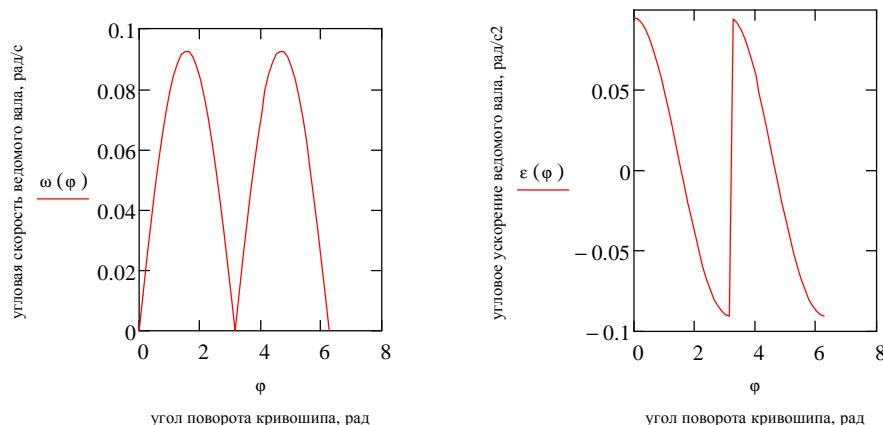


Рис. 4. Графики изменения угловой скорости и углового ускорения ведомого вала при $r_1=0.005$ м и $R_1=0.054$ м

Получение двух импульсов изменения угловой скорости за цикл дает возможность ведомому валу вращаться с меньшей неравномерностью.

Кинематический анализ с помощью программного цикла расчета импульсного редуктора как механизма с переменной структурой показал, что импульсный редуктор с данным преобразующим механизмом может обеспечивать не только движение ведомого вала с выстоями, но и с заданной неравномерностью. Возможно также и достижение равномерного вращения выходного вала при определенном сочетании реальных динамических характеристик составляющих редуктора [3]. Интерес представляет исследование динамики движения звеньев редуктора с учетом силовых факторов и инерционных характеристик.

Література

1. Мальцев В.Ф. Механические импульсные передачи / В.Ф. Мальцев – М. : Машиностроение, 1978. – 368 с.
2. Пат. 63938 Україна, МПК(2011.01) F16H 29/00. Импульсный редуктор / Амбарцумянц Р.В., Субботіна М.І. ; ОНАХТ. – №u201103684 ; заявл. 28.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20, 2011.
3. Субботіна М.І. Динамічне дослідження впливу жорсткості механізму вільного ходу на основні характеристики імпульсного редуктора при зміні експлуатаційних умов / М.І. Субботіна // Наук. пр. / ОНАХТ. – Одеса, 2008. – Вип. 34, т. 1. – С. 275 – 279.

Надійшла 8.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Гросул Л.І.

НОВІ ТИПИ ГВИНТОВИХ МЕХАНІЗМІВ З ПОКРАЩЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

На основі методики генерування конструкцій енергоощадних транспортно-технологічних систем з гвинтовими робочими органами, отримано нові конструкції гвинтових механізмів з покращеними експлуатаційними характеристиками, мінімізацією питомих енерговитрат, підвищеною стабільністю транспортування і зменшення травмування насінних матеріалів шляхом вибору раціональних конструктивних параметрів і режимів їх роботи. Визначено швидкість і прискорення вантажу в еліптичному змішувачі, побудовано графіки зміни швидкості та прискорення руху вантажу в часі. Отримані параметричні рівняння дозволяють визначити інтенсивність переміщення матеріалів на стадії проектування гвинтового еліптичного змішувача.

Ключові слова: гвинтові механізми, мінімізація енерговитрат, зменшення травмування насіння, швидкість, прискорення.

On the basis of methodology of generating of the energy saving transport-technological systems constructions with spiral working elements, the new constructions of spiral mechanisms are got with the improved operating descriptions, minimization of specific energy wastes, increase stability of transporting and reduction of injuring of seminal materials by the choice of rational structural parameters and their office hours. Speed and acceleration of load defined in an elliptic mixer, built the graphic arts of change of speed and acceleration of motion of load in time. The got self-reactance equalizations allow to determine intensity of moving of materials on the stage of planning spiral elliptic"

Keywords: spiral mechanisms, minimization of energovitrat, diminishing of injuring of seed, speed, acceleration.

Постановка питання. В сільськогосподарському виробництві існує необхідність приготування й транспортування сумішей сипких матеріалів (СМ). Змішування компонентів є одним із основних процесів сільськогосподарського виробництва, який застосовується у всіх його галузях, в тому числі для протруювання насінневого матеріалу у рослинництві, приготування кормів і введення мікроелементів в кормові суміші у тваринництві тощо. Розмаїття СМ з різними фізико-механічними властивостями та вимогами щодо їх якості, технології перемішування й транспортування зумовили появу широкої номенклатури змішувального обладнання. Найширшого практичного застосування набули шнекові та барабанні змішувачі. До їх переваг відносять можливість неперервного змішування, високу якість суміші, коротку тривалість процесу змішування, незначні габаритні розміри тощо. Недоліки гвинтових конвеєрів та барабанних змішувачів пов'язані з високими питомими витратами енергії, значним стиранням і подрібненням вантажу, підвищеним зносом гвинтового робочого органу і кожуха, а також чутливістю до перевантажень, що призводить до утворення всередині кожуха заторів.

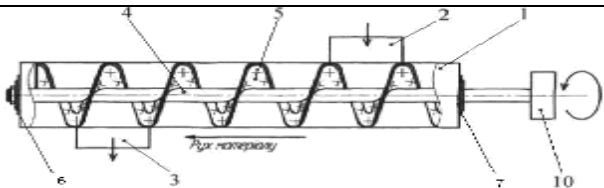
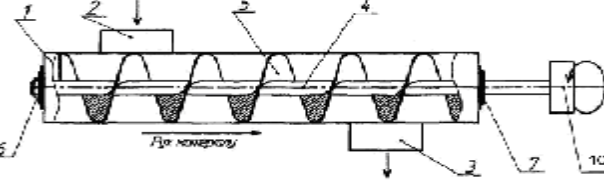
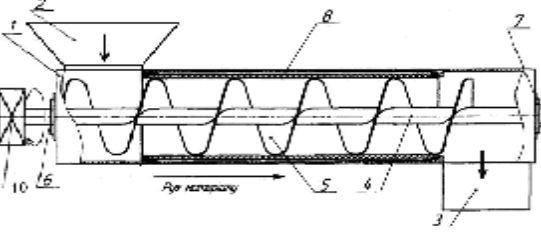
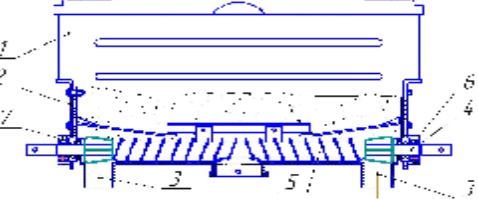
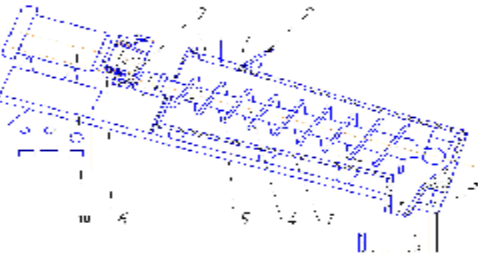
Вирішення цієї проблеми вимагає створення нових високоефективних методів і технологічних схем перемішування в процесі транспортування; засобів механізації і розробки нових робочих органів та конструкцій змішувального обладнання; створення прогресивних технологічних процесів змішування.

Аналіз останніх результатів досліджень і публікацій. Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені проектуванню гвинтових конвеєрів, сучасні вимоги сільськогосподарського виробництва висувають завдання щодо модернізації існуючих конструкцій та створення принципово нових з проведенням відповідних теоретичних та експериментальних досліджень. Дослідженням конструкцій і теорій гвинтових механізмів присвячені праці Григор'єва А.М. [1], Германа [2], Гевка Б.М. [3], Макарова Ю.І. [4] та багатьох інших. Однак цілий ряд питань конструктивного їх удосконалення, теорії і практики потребують свого вирішення.

Мета роботи. Підвищення якості змішування і покращення умов транспортування насінних матеріалів шляхом розробки засобів механізації з використанням гвинтових конвеєрів з покращеними умовами експлуатації і мінімізації енерговитрат та зменшення травмування насіння.

В результаті синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу було синтезовано працездатні конструкції альтернативних варіантів транспортно-технологічних систем з гвинтовими робочими органами з покращеними технологічними, експлуатаційними та іншими характеристиками, які наведені в таблиці 1.

Нові типи гвинтових механізмів з покращеними експлуатаційними характеристиками

№ з/п	Загальний вигляд гвинтового конвеєра і особливості конструкції	Патент
1	 <p data-bbox="347 465 1209 555">На робочі поверхні гвинтів встановлені накладки з полімерного матеріалу, причому накладки виконана зі змінною жорсткістю зі зменшенням її в бік зовнішньої кромки.</p>	3 69808, 10.05.12, бюл. № 9 [5]
2	 <p data-bbox="331 786 1225 846">З підвищеною експлуатаційною надійністю і довговічністю витків гвинтового органу напилені зносостійким сплавом</p>	70813, 25.06.12, бюл. № 12 [6]
3	 <p data-bbox="347 1115 1209 1178">При пуску гвинтових конвеєрів з заповненими кожухами, останні доцільно виготовляти обертовими на підшипниках ковзання.</p>	73085, 10.09.12, бюл. № 17 [7]
4	 <p data-bbox="316 1413 1257 1480">Туковисівний апарат удосконаленої конструкції з рівномірним збільшенням кроку гвинтової спіралі в напрямку транспортування</p>	74902, 12.11.12, бюл. № 21 [8]
5	 <p data-bbox="331 1787 1241 1850">Енергоощадний гвинтовий еліптичний змішувач з просторовим переміщенням сипкого матеріалу.</p>	Подана заявка

1 – кожух; 2 – завантажувальний патрубок; 3 – розвантажувальний патрубок; 4 – вал; 5 – витки; 6, 7 – підшипникові вузли;
8 – обертовий кожух; 9, – підшипникова опора; 10 – механізм приводу.

Для підвищення якості протруювання зерна і зменшення габаритів протруювачів досить часто використовують конструкції, які забезпечують складний рух матеріалів, що змішуються. Для здійснення цього процесу найкраще підходить розроблений гвинтовий еліптичний протруювач.

Під час практичних досліджень встановлено, що траєкторія руху вантажу у швидкісних транспортерах відповідає складній гвинтовій лінії. У випадку застосування у приводі протруювача зачеплення зубчастої конічної шестерні з еліпсним конічним колесом рівняння траєкторії руху вантажу запишемо у параметричній формі:

$$\mathbf{r}_b = \begin{pmatrix} a \left[(-\sin(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t) - \cos(\omega_1 t) \cdot \sin(\omega_2 t))r - \sin(\omega_1 t) \cdot \frac{\omega_2 T \operatorname{tg} \alpha_1 t}{2\pi} \right] \\ b \left[(-\sin(\omega_1 t) \cdot \sin(\omega_2 t) + \cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t))r + \cos(\omega_1 t) \cdot \frac{\omega_2 T \operatorname{tg} \alpha_1 t}{2\pi} \right] \\ \frac{\omega_2 T t}{2\pi} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де a, b – параметри, що визначають співвідношення осей еліптичного колеса.

На основі системи рівнянь (1) побудовано траєкторії переміщення вантажу, що зображено на рис. 1.

Параметр t визначено на проміжку $0 \leq t \leq \frac{2\pi L}{\omega_2 T}$.

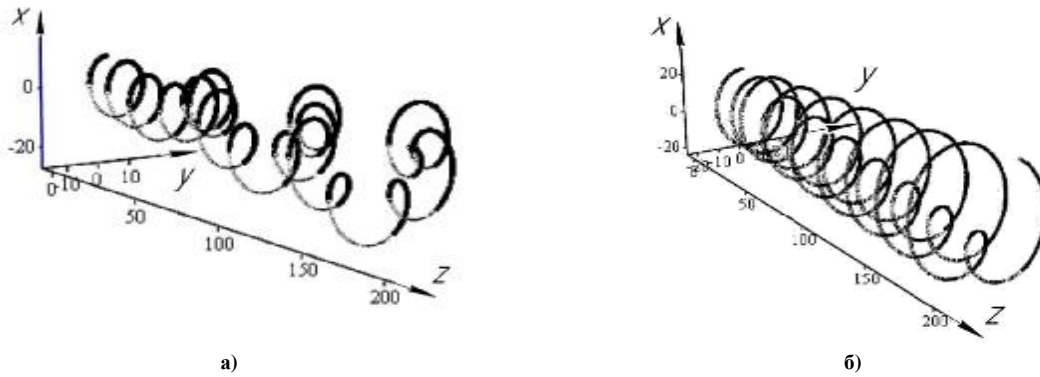


Рис. 1. Траєкторія руху вантажу у гвинтовому еліптичному протруювачі: а) $\omega_1 < \omega_2$; б) $\omega_1 = \omega_2$.

Провівши диференціювання системи рівнянь (1) визначили швидкість і прискорення вантажу:

$$\mathbf{v}_b = \begin{pmatrix} \left[(-\cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \cos(\omega_2 \cdot t) + \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega_2 \cdot t)) \cdot r \cdot (\omega_1 + \omega_2) - \frac{\omega_2 \cdot T \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{2\pi} \cdot (\cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1 \cdot t + \sin(\omega_1 \cdot t)) \right] \cdot a \\ \left[(-\cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) - \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \cos(\omega_2 \cdot t)) \cdot r \cdot (\omega_1 + \omega_2) + \frac{\omega_2 \cdot T \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{2\pi} \cdot (-\cos(\omega_1 \cdot t) + \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1 \cdot t) \right] \cdot b \\ \frac{\omega_2 \cdot T}{2\pi} \end{pmatrix}; \quad (2)$$

$$\mathbf{a}_b = \begin{pmatrix} \left[(\sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \cos(\omega_2 \cdot t) + \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega_2 \cdot t)) \cdot r \cdot (\omega_1 + \omega_2)^2 + \frac{\omega_2 \cdot T \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{2\pi} \cdot (\sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1^2 \cdot t - 2 \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1) \right] \cdot a \\ \left[(\sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) - \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \cos(\omega_2 \cdot t)) \cdot r \cdot (\omega_1 + \omega_2)^2 - \frac{\omega_2 \cdot T \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{2\pi} \cdot (\cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1^2 \cdot t + 2 \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1) \right] \cdot b \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де ω_1 – частота обертання шнека навколо еліптичного колеса;

ω_2 – частота обертання шнека навколо власної осі;

t – час;

T – крок розміщення витків шнека;

α_1 – найбільший кут ексцентриситету шнека;

Визначасмо абсолютну швидкість вантажу у змішувачі:

$$v_r = \sqrt{v_{Bx}^2 + v_{By}^2 + v_{Bz}^2}, \quad (4)$$

де v_{Bx} , v_{By} , v_{Bz} – проекції швидкості вантажу на вісі x , y , z .

Визначаємо абсолютне прискорення вантажу у змішувачі

$$a_r = \sqrt{a_{Bx}^2 + a_{By}^2 + a_{Bz}^2}, \quad (5)$$

де a_{Bx} , a_{By} , a_{Bz} – проекції прискорення вантажу на вісі x , y , z .

На основі формул (4–5) побудовано графіки зміни швидкості (рис. 2) та прискорення (рис. 3) руху вантажу у гвинтовому еліптичному змішувачі в часі.

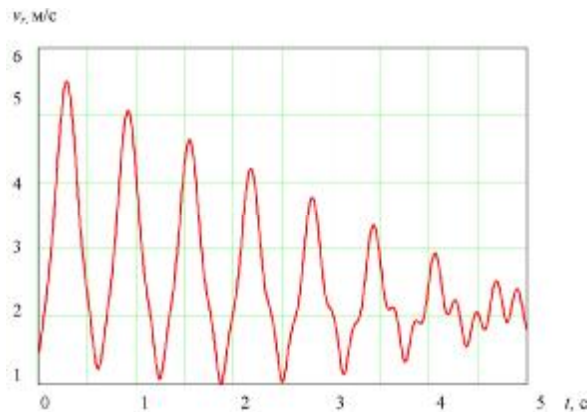


Рис. 2. Графік зміни абсолютної швидкості руху вантажу в гвинтовому еліптичному змішувачі в часі: $w_1 < w_2$

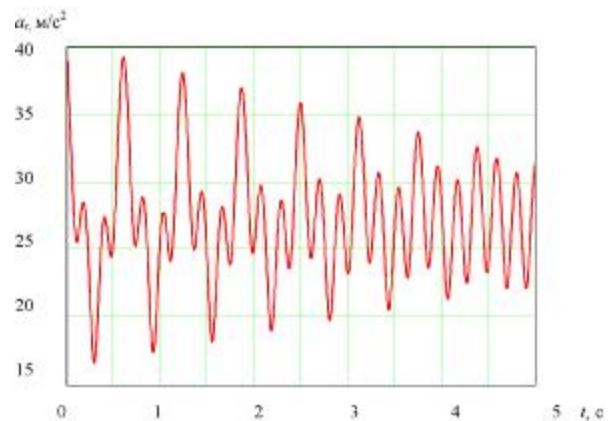


Рис. 3. Графік зміни прискорення руху вантажу в гвинтовому еліптичному змішувачі в часі: $w_1 < w_2$

Отримані параметричні рівняння та графіки траєкторії руху вантажу дозволяють визначити інтенсивність переміщення матеріалів на стадії проектування гвинтового еліптичного змішувача. Чим більша інтенсивність руху вантажу, тим менший за довжиною протруювач, а відповідно і менші енергетичні затрати на змішування. Абсолютна швидкість руху вантажу у гвинтовому еліптичному змішувачі досягає величин, які в 2–3,5 разів перевищують початкову швидкість вантажу, відповідно прискорення змінюється в межах 30–40%.

Висновки

1. Розроблені нові типи гвинтових механізмів з покращеними експлуатаційними характеристиками, до яких відносяться підвищення експлуатаційної надійності і довговічності, покращення якості змішування, зменшення зусилля транспортування і травмування насіннєвих матеріалів.

2. Отримані параметричні рівняння дозволяють визначити інтенсивність переміщення матеріалів на стадії проектування гвинтового транспортера.

3. Чотири представлені конструкції захищені патентами України на корисні моделі.

Література

1. Григорьев А.М. Винтовые ковейеры / А.М. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1972. – 258 с.
2. Герман Х. Шнековые машины в технологических ФРГ / Х. Герман. – Л., 1975. – 250 с.
3. Гевко Б.М. Механізми з гвинтовими пристроями / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинський. – Львів : Вид-во «Світ», 1993. – 206 с.
4. Макаров Ю.И. Апараты для смешивания сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – Машиностроение, 1973. – 216 с.
5. Пат. № 69808 Україна, МПК (2006.01): A01F 12/46. Гвинтовий конвеєр / Герук С.М., Грудовий Р.С.; заявник і патентовласник Герук С.М. – № u201113598; заявл. 18.11.2011; опубл. 10.05.2012. Бюл. № 9, 2012.
6. Пат. № 70813 Україна, МПК (2006.01): A01F 12/46. Гвинтовий конвеєр / Герук С.М., Грудовий Р.С.; заявник і патентовласник Герук С.М. – № u201114633; заявл. 09.12.2012; опубл. 25.06.2012. Бюл. № 12, 2012.
7. Пат. № 73085 Україна, МПК (2012.01): A01F 12/00. Гвинтовий конвеєр / Герук С.М., Грудовий Р.С.; заявник і патентовласник Герук С.М. – № u201202448; заявл. 01.03.2012; опубл. 10.09.2012. Бюл. № 17, 2012.
8. Пат. № 74902 Україна, МПК (2012.01): A01C 15/00. Туковисівний апарат удосконаленої конструкції / Павельчук Ю. Ф., Грудовий Р. С., Дячун А. Є., Лотоцький Р. І.; заявник і патентовласник Павельчук Ю. Ф.; Грудовий Р. С.; Дячун А. Є.; Лотоцький Р. І. – № u 201206239; заявл. 23.05.2012; опубл. 12.11.2012. Бюл. № 21, 2012.

Надійшла 9.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Грабар І.Г.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИЗГИБА ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Разработана методика построения функции Грина при решении задачи изгиба ортотропной пластины численно-аналитическим методом граничных элементов. Приводится общий алгоритм построения функции Грина, в соответствии с которым получено ее аналитическое выражение.

Ключевые слова: ортотропная пластина, функция Грина, функция Хевисайда, граничный элемент.

A method for constructing the Green's function in solving the problem of bending of orthotropic plates numerical-analytical boundary element method. Provides an algorithm for constructing the Green's function, whereby it obtained an analytical expression.

Keywords: orthotropic plate, function of Grina, function of Khevisayda, border element.

Постановка проблемы и её актуальность. Развитие различных отраслей машиностроения, авиационно-космической техники, судостроения, строительства и целого ряда других направлений ставит задачи проектирования и расчета экономичных тонкостенных систем и, в частности, пластин.

При этом на современном этапе уровень развития производства характеризуется широким внедрением новых высокопрочных материалов, обладающих ортотропными (ортогонально анизотропными) свойствами.

В силу определенных проблем математического характера получить аналитическое решение дифференциального уравнения изгиба ортотропной пластины удастся не всегда. Существенную роль здесь играют условия закрепления краев пластины и локальные нагрузки. Широко применяются численные методы анализа, но здесь, как известно, нет универсального подхода.

Цель статьи. Поставлена задача: создать универсальный аналитический подход к расчету изгибаемых ортотропных пластин, позволяющий получить решение задачи при любых граничных условиях и внешних нагрузках. Эта задача решается одним из быстро развивающихся в последние годы методом — численно-аналитическим методом граничных элементов (ЧАМГЭ), применение которого во многих случаях более эффективно, чем использование метода конечных элементов (МКЭ). С помощью ЧАМГЭ получены решения целого ряда задач [1, 2], хотя многие вопросы остаются пока нерешенными.

В работе исследуется одна из важнейших и актуальных проблем, возникающих при использовании алгоритма ЧАМГЭ [1] для решения задач изгиба ортотропных пластин — построение функции Грина.

Изложение основного материала исследования. Основное разрешающее уравнение изгиба ортотропной пластины (уравнение Жермен – Лагранжа) имеет вид

$$D_1 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial y^4} = q(x, y), \quad (1)$$

где жесткости определяются формулами

$$D_1 = \frac{E_x h^3}{12(1 - \mu_{xy} \mu_{yx})}; \quad D_2 = \frac{E_y h^3}{12(1 - \mu_{xy} \mu_{yx})};$$

$$D_3 = D_1 \mu_{xy} + 2D_k = D_2 \mu_{yx} + 2D_k; \quad D_k = \frac{Gh^3}{12};$$

E_x, E_y — модули упругости в направлениях осей; G — модуль сдвига; h — толщина пластины; μ_{xy}, μ_{yx} — коэффициенты Пуассона.

Используя метод Канторовича-Власова, уравнение (1) можно привести к линейному неоднородному дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами, общим решением которого будет

$$Y = C_1 y_1(y) + C_2 y_2(y) + C_3 y_3(y) + C_4 y_4(y) + y_*(y). \quad (2)$$

Частное решение $y_*(y)$ в (2) зависит от вида внешней нагрузки; его удобно представить как

$$y_*(y) = \int_0^y G(y, \xi) q(\xi) d\xi,$$

где $G(y, \xi) = Y(y, \xi) H(y - \xi)$ — функция Грина; $H(y - \xi)$ — функция Хевисайда.

Если заранее оговорить, что $y > \xi$, то $H(y - \xi) = 1$ и тогда

$$Y(y, \xi) = C_1(\xi) y_1(y) + C_2(\xi) y_2(y) + C_3(\xi) y_3(y) + C_4(\xi) y_4(y). \quad (3)$$

Константы $C_i(\xi)$ определяются из условия

$$\begin{vmatrix} y_1(\xi) & y_2(\xi) & y_3(\xi) & y_4(\xi) \\ y_1'(\xi) & y_2'(\xi) & y_3'(\xi) & y_4'(\xi) \\ y_1''(\xi) & y_2''(\xi) & y_3''(\xi) & y_4''(\xi) \\ y_1'''(\xi) & y_2'''(\xi) & y_3'''(\xi) & y_4'''(\xi) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/a_0 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Здесь $a_0 = 1$ – коэффициент при старшей степени дифференциального уравнения задачи.

Решение линейного неоднородного дифференциального уравнения задачи зависит от корней соответствующего ему характеристического уравнения [1]

$$K_{1-4} = \pm\sqrt{r^2 \pm \sqrt{r^4 - s^4}}. \quad (5)$$

Рассмотрим вывод формулы для функции Грина применительно к варианту корней характеристического уравнения, который соответствует жесткому заземлению продольных кромок пластины, т.е.

$$y_1 = ch\alpha\xi \sin\beta\xi; \quad y_2 = ch\alpha\xi \cos\beta\xi; \quad y_3 = sh\alpha\xi \cos\beta\xi; \quad y_4 = sh\alpha\xi \sin\beta\xi, \quad (6)$$

где $K_{1-4} = \pm\alpha \pm i\beta; |s| > |r|$.

Перепишем (4) в виде

$$\begin{cases} y_1 C_1 + y_2 C_2 + y_3 C_3 + y_4 C_4 = 0; \\ y_1' C_1 + y_2' C_2 + y_3' C_3 + y_4' C_4 = 0; \\ y_1'' C_1 + y_2'' C_2 + y_3'' C_3 + y_4'' C_4 = 0; \\ y_1''' C_1 + y_2''' C_2 + y_3''' C_3 + y_4''' C_4 = 1, \end{cases}$$

или, с учетом (6),

$$\begin{cases} y_1 C_1 + y_2 C_2 + y_3 C_3 + y_4 C_4 = 0; \\ (\alpha y_4 + \beta y_2) C_1 + (\alpha y_3 - \beta y_1) C_2 + (\alpha y_2 - \beta y_4) C_3 + (\alpha y_1 + \beta y_3) C_4 = 0; \\ [(\alpha^2 - \beta^2) y_1 + 2\alpha\beta y_3] C_1 + [(\alpha^2 - \beta^2) y_2 - 2\alpha\beta y_4] C_2 + \\ + [(\alpha^2 - \beta^2) y_3 - 2\alpha\beta y_1] C_3 + [(\alpha^2 - \beta^2) y_4 + 2\alpha\beta y_2] C_4 = 0; \\ [\alpha(\alpha^2 - 3\beta^2) y_4 - \beta(\beta^2 - 3\alpha^2) y_2] C_1 + [\alpha(\alpha^2 - 3\beta^2) y_3 + \beta(\beta^2 - 3\alpha^2) y_1] C_2 + \\ + [\alpha(\alpha^2 - 3\beta^2) y_2 + \beta(\beta^2 - 3\alpha^2) y_4] C_3 + [\alpha(\alpha^2 - 3\beta^2) y_1 - \beta(\beta^2 - 3\alpha^2) y_3] C_4 = 1. \end{cases} \quad (7)$$

В результате обычных преобразований этих уравнений, выполненных, например, по схеме метода Гаусса, получим два уравнения:

$$\begin{cases} \left\{ \alpha \left[y_1 (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 - y_4^2) - 2y_2 y_3 y_4 \right] + \beta \left[y_3 (y_1^2 - y_2^2 + y_3^2 + y_4^2) - 2y_1 y_2 y_4 \right] \right\} C_1 + \\ + \left\{ \alpha \left[y_2 (y_1^2 + y_2^2 - y_3^2 + y_4^2) - 2y_1 y_3 y_4 \right] + \beta \left[y_4 (y_1^2 - y_2^2 - y_3^2 - y_4^2) + 2y_1 y_2 y_3 \right] \right\} C_2 = 0, \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \left\{ \alpha(\alpha^2 - 3\beta^2) \left[y_1 (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 - y_4^2) - 2y_2 y_3 y_4 \right] - \right. \\ \left. - \beta(\beta^2 - 3\alpha^2) \left[y_3 (y_1^2 - y_2^2 + y_3^2 + y_4^2) - 2y_1 y_2 y_4 \right] \right\} C_1 + \\ + \left\{ \alpha(\alpha^2 - 3\beta^2) \left[y_2 (y_1^2 + y_2^2 - y_3^2 + y_4^2) - 2y_1 y_3 y_4 \right] - \right. \\ \left. - \beta(\beta^2 - 3\alpha^2) \left[y_4 (y_1^2 - y_2^2 - y_3^2 - y_4^2) + 2y_1 y_2 y_3 \right] \right\} C_2 = -(y_2 y_3 + y_1 y_4). \end{cases} \quad (9)$$

Решаем совместно уравнения (8) и (9). Заметим, что в этих уравнениях выражения, стоящие в квадратных скобках, соответственно равны, поэтому обозначим их через a, b, c, d и перепишем уравнения (8) и (9) в виде:

$$\begin{cases} (\alpha a + \beta b) C_1 + (\alpha c + \beta d) C_2 = 0; \\ \left[\alpha(\alpha^2 - 3\beta^2) a - \beta(\beta^2 - 3\alpha^2) b \right] C_1 + \left[\alpha(\alpha^2 - 3\beta^2) c - \beta(\beta^2 - 3\alpha^2) d \right] C_2 = -(y_2 y_3 + y_1 y_4). \end{cases} \quad (10)$$

Из первого уравнения найдем C_2 и подставим во второе.

$$C_2 = -\frac{\alpha a + \beta b}{\alpha c + \beta d} C_1,$$

$$\left\{ \left[\alpha(\alpha^2 - 3\beta^2)a - \beta(\beta^2 - 3\alpha^2)b \right] - \left[\alpha(\alpha^2 - 3\beta^2)c - \beta(\beta^2 - 3\alpha^2)d \right] \frac{\alpha a + \beta b}{\alpha c + \beta d} \right\} C_1 = -(y_2 y_3 + y_1 y_4);$$

После преобразований левой части получим:

$$2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)(bc - ad)C_1 = -(y_2 y_3 + y_1 y_4)(\alpha c + \beta d) \quad (11)$$

Используя свойства функций $y_1 - y_4$ (гиперболо-тригонометрические функции), выражения для a , b , c , d можно значительно упростить:

$$b = -y_3; \quad c = y_2; \quad a = y_1; \quad d = y_4.$$

Тогда выражение (11) принимает вид:

$$2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)(-y_2 y_3 - y_1 y_4)C_1 = -(y_2 y_3 + y_1 y_4)(\alpha y_2 + \beta y_4),$$

отсюда

$$C_1 = \frac{\alpha y_2 + \beta y_4}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)},$$

$$C_2 = -\frac{\alpha a + \beta b}{\alpha c + \beta d} C_1 = -\frac{\alpha y_1 - \beta y_3}{\alpha y_2 + \beta y_4} \cdot \frac{\alpha y_2 + \beta y_4}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)} = \frac{\beta y_3 - \alpha y_1}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)}.$$

Используя обратный ход, найдем C_3 и C_4 :

$$C_3 = \frac{\alpha y_4 - \beta y_2}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)};$$

$$C_4 = -\frac{\alpha y_3 + \beta y_1}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)}.$$

Таким образом, константы для этого варианта корней характеристического уравнения имеют вид:

$$\begin{cases} C_1 = \frac{\alpha y_2 + \beta y_4}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)}; \\ C_2 = \frac{\beta y_3 - \alpha y_1}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)}; \\ C_3 = \frac{\alpha y_4 - \beta y_2}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)}; \\ C_4 = -\frac{\alpha y_3 + \beta y_1}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)}. \end{cases}$$

Функция Грина запишется так:

$$\begin{aligned} G(y, \xi) &= C_1(\xi)y_1(y) + C_2(\xi)y_2(y) + C_3(\xi)y_3(y) + C_4(\xi)y_4(y) = \\ &= \frac{\alpha y_2(\xi) + \beta y_4(\xi)}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)} y_1(y) + \frac{\beta y_3(\xi) - \alpha y_1(\xi)}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)} y_2(y) + \frac{\alpha y_4(\xi) - \beta y_2(\xi)}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)} y_3(y) - \frac{\alpha y_3(\xi) + \beta y_1(\xi)}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)} y_4(y) = \\ &= \frac{1}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)} \left[(\alpha c h \alpha \xi \cos \beta \xi + \beta s h \alpha \xi \sin \beta \xi) c h \alpha y \sin \beta y + (\beta s h \alpha \xi \cos \beta \xi - \alpha c h \alpha \xi \sin \beta \xi) c h \alpha y \cos \beta y + \right. \\ &+ \left. (\alpha s h \alpha \xi \sin \beta \xi - \beta c h \alpha \xi \cos \beta \xi) s h \alpha y \cos \beta y - (\alpha s h \alpha \xi \cos \beta \xi + \beta c h \alpha \xi \sin \beta \xi) s h \alpha y \sin \beta y \right] = \\ &= \frac{1}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)} \left[\alpha c h \alpha (\xi - y) \sin \beta (\xi - y) - \beta s h \alpha (\xi - y) \cos \beta (\xi - y) \right]. \end{aligned}$$

При построении полной системы фундаментальных функций [3] было получено:

$$A_{14} = \frac{1}{2\alpha\beta A(\alpha^2 + \beta^2)} (\beta \Phi_3 - \alpha \Phi_1) = \frac{1}{A} \frac{1}{2\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2)} (\beta \Phi_3 - \alpha \Phi_1),$$

следовательно,

$$G(y - \xi) = -A A_{14} (y - \xi), \quad (12)$$

где A — коэффициент, вычисленный в [3].

Заключение. Можно убедиться, что построенная функция $G(y, \xi)$ обладает всеми свойствами,

характерными для функции Грина:

а) $G(y, \xi) = 0$ при $y < \xi$;

б) $G(y, \xi)$ как функция от y при фиксированном ξ в интервале $(0, y_{zp})$, за исключением точки $y = \xi$, удовлетворяют дифференциальному уравнению задачи;

в) $G(y, \xi)$ и ее производные по y до n -го порядка включительно непрерывны для $y \in (0, y_{zp})$, за исключением точки $y = \xi$, в которой производные по y непрерывны лишь до $(n-2)$ порядка, а $(n-1)$ производная имеет разрыв I рода со скачком

$$\left. \frac{d^{(n-1)}G(y, \xi)}{dy^{(n-1)}} \right|_{y=\xi+0} - \left. \frac{d^{(n-1)}G(y, \xi)}{dy^{(n-1)}} \right|_{y=\xi-0} = \frac{1}{a_0};$$

г) при $y = \xi$,

$$G(\xi, \xi) = G'(\xi, \xi) = \dots = G^{(n-2)}(\xi, \xi) = 0; \quad G^{(n-1)}(\xi, \xi) = \frac{1}{a_0} = 1;$$

д) $G(y, \xi)$ для дифференциального уравнения задачи (а это дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами) зависит только от разности $(y - \xi)$.

Выражение (11) будет использовано в дальнейшем при построении вектора нагрузки в соответствии с алгоритмом численно-аналитического метода граничных элементов.

Литература

1. Численно-аналитический метод граничных элементов / [А.Ф. Дашенко, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов] : в 2 т. Т.1. – Одесса, ВМВ, 2010. – 416 с.
2. Оробей В.Ф. Практикум по решению краевых задач механики : [учебное пособие для студ. техн. спец.] / В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. – Одесса : Астропринт, 2011. – 408 с.
3. Максимович О.В. Определение фундаментальных функций в задаче изгиба ортотропной пластины / О.В. Максимович, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов // Авиационно-космическая техника и технология. — Харьков, ХАИ, 2011. – Вып. 3(80). – С. 37–42.

Надійшла 23.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Параска Г.Б.

РОЗПОДІЛ ВНУТРІШНІХ СИЛОВИХ ФАКТОРІВ В ПЕРЕРІЗІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЛОКАЛЬНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Встановлено основні закономірності розподілу згинального моменту і поперечної сили в перерізі тонкостінної оболонки при дії на неї зосередженою силою.

Ключові слова: локальне навантаження, згинальний момент, поперечна сила, ротаційна витяжка.

The main regularities of the distribution of the bending moment and shear force at the section sheet obolonkov the action focused on her strength.

Keywords: local loading, bend moment, transversal force, rotary extraction.

В різних галузях машинобудування знайшли широке використання осесиметричні тонкостінні вироби, до якості та експлуатаційних властивостей яких ставляться високі вимоги. Для виготовлення таких виробів широко використовуються методи ротаційної витяжки, що дає можливість значно знизити затрати на виготовлення інструменту і оснащення в порівнянні з іншими видами обробки металів тиском. На даний час цілий ряд робіт присвячені експериментальним дослідженням ротаційної витяжки [1–3], а також чисельним методам моделювання цих процесів [4], але практично відсутні методи розрахунку напружено-деформованого стану в осередку деформації та методи розрахунку розподілу внутрішніх силових факторів. В даній роботі запропонована інженерна методика визначення закономірностей розподілу внутрішніх силових факторів в перерізі циліндричної заготовки, при ротаційній витяжці.

Будемо розглядати циліндричну заготовку як тонкостінну оболонку на яку діє зосереджена сила P (рис. 1). В розглядуваному випадку крутні моменти відсутні внаслідок симетрії оболонки і характеру діючого навантаження. Схема навантаження оболонки показана на рис. 1. Сила T , стискує кільце, тому відносна деформація в коловому напрямі буде дорівнювати

$$e_{\phi} = \frac{T}{2E\delta R} = \frac{P}{4E\delta R}, \quad (1)$$

де E – модуль юнга, δ – товщина оболонки, T – внутрішнє зусилля.

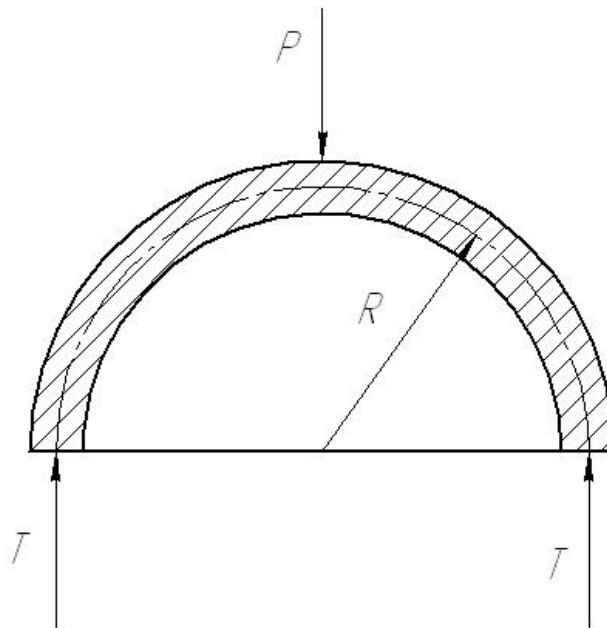


Рис. 1. Схема навантаження тонкостінної оболонки

При цьому серединна поверхня оболонки отримає радіальне переміщення

$$v = e_{\phi} R = \frac{P}{4E\delta}. \quad (2)$$

В роботі [5] для визначення переміщення v отримано наступне диференціальне рівняння

$$v^{IV} + 4\alpha^4 (v - v_0) = 0, \quad (3)$$

де $4\alpha^4 = \frac{3(1-\nu^2)}{h^2 \cdot R^2}$, ν – коефіцієнт Пуассона,

v_0 – величина пропорційна навантаженню P і визначається рівнянням (2).

Рівняння (3) повністю співпадає з рівнянням згину балки на пружній основі. Це стає зрозумілим, якщо виділити із оболонки стрічку, як показано на рис. 2. Внаслідок кривизни стрічки діючі з двох сторін зусилля T , дають складову направлену по радіусу, а так як T пропорційна прогину v , то ця стрічка знаходиться в тих же умовах, що і балка на пружній основі.

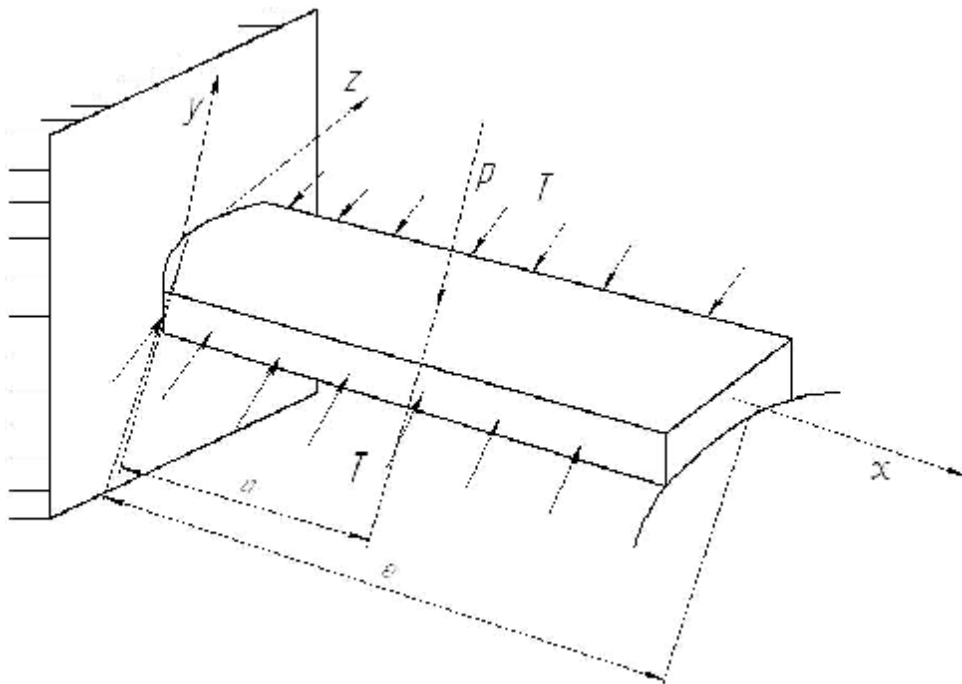


Рис. 2. Елемент стрічки, вирізаної з оболонки

Виходячи з викладеного, для оцінки розподілу внутрішніх силових факторів будемо розв'язувати задачу подібну задачі для балки на пружній основі. Зовнішнє навантаження задається силою P . Крім того, в поздовжніх перерізах оболонки діє колова сила T . Величина цієї сили пропорційна пружному відносному видовженню кілець оболонки. Тому на рис. 3, де показано поперечний переріз стрічки, сила T умовно показана як реакція пружної основи. Вона дає рівнодійну r , яку можна розглядати як реакцію пружної основи. Із рис. 3 находимо

$$r = 2T \sin \frac{\Delta\alpha}{2} \approx 2T \frac{\Delta S}{R + v}, \quad (4)$$

Відносне видовження радіуса R , а відповідно, і відносне видовження стінок оболонки в коловому напрямі буде дорівнювати: $e_\phi = \frac{v}{R}$. Тоді колові напруження по закону Гука будуть дорівнювати: $e_\phi = E \frac{v}{R}$,

звідки сила T : $T = \sigma \cdot \delta \cdot l = \frac{\delta E}{R} v$ і, відповідно:

$$r = \frac{\delta E}{R^2} v. \quad (5)$$

Формула (5) показує, що зусилля r можна розглядати як реакцію пружної основи, яка чинить опір прогином балки-стрічки з коефіцієнтом пропорційності:

$$K = \frac{\delta E}{R^2}. \quad (6)$$

Виходячи із того, що при $P=0$ дорівнює нулю і прогин балки ($v_0=0$), та враховуючи дію навантаження P переписемо рівняння (3) у виді:

$$v^{IV} + 4\beta^4 v = \frac{P}{\Delta S E_1 I_Z}, \quad (7)$$

де I_Z – осьовий момент інерції поперечного перерізу балки-стрічки, $E_1 = \frac{E}{1 - \nu^2}$.

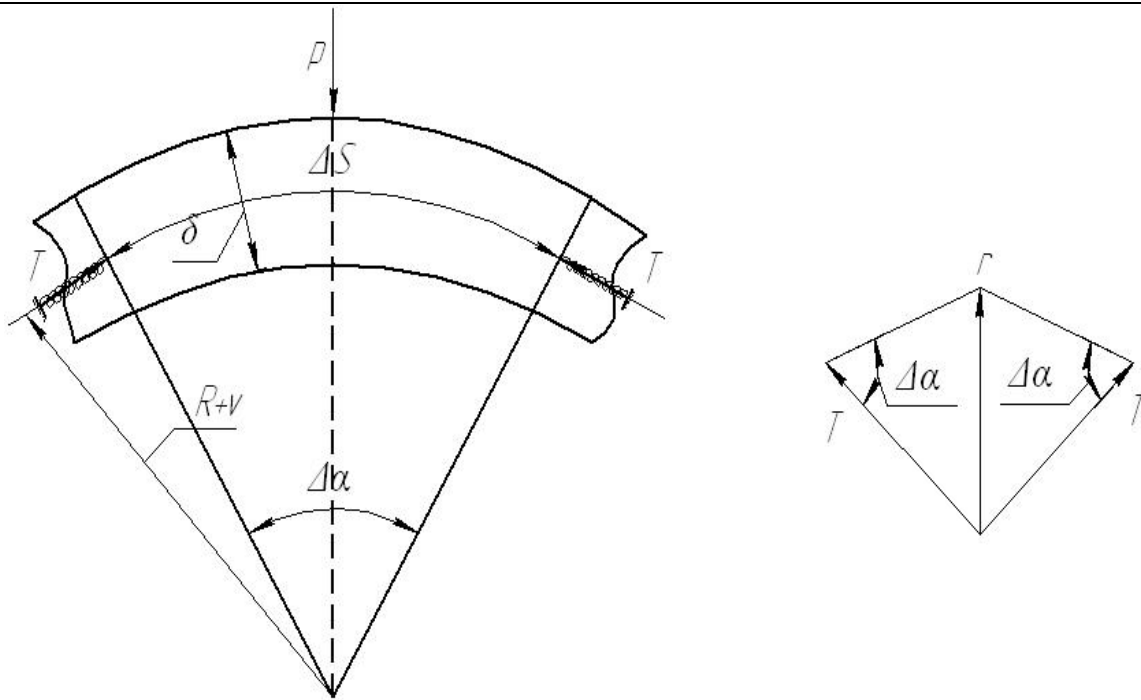


Рис. 3. Поперечний переріз стрічки

Момент інерції стрічки I_Z буде дорівнювати:

$$I_Z = \frac{\Delta S \cdot \delta^3}{12}. \tag{8}$$

Величина коефіцієнта β в рівнянні (7) з урахуванням (6) і (8) буде дорівнювати:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4E_1 I_Z}} = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{R^2 \delta^2}}. \tag{9}$$

Для тих випадків, коли навантаження P лінійно залежить від ν , продиференціюємо рівняння (7) два рази по x , помножимо на $E_1 I_Z$ і, враховуючи те, що $E_1 I_Z \nu'' = M$, отримаємо:

$$\frac{d^4 M}{dx^4} + 4\beta^4 M = P'''. \tag{10}$$

Якщо розглядати балку-полоску кінцевої довжини, закріплену як показано на рис. 2 та навантажену зосередженою силою P , то в рівнянні (10) $P'''=0$. Академік А. Н. Крилов запропонував наступний розв'язок рівняння (10):

$$\begin{aligned} M &= M_0 Y_1(x) + \frac{Q_0}{\beta} Y_2(x) - \frac{P}{\beta} Y_2(x-a); \\ Q &= -4\beta M_0 Y_4(x) + Q_0 Y_1(x) - P Y_1(x-a), \end{aligned} \tag{11}$$

де

$$\left. \begin{aligned} Y_1(x) &= ch\beta x \cos \beta x; \\ Y_2(x) &= \frac{1}{2} [ch\beta x \sin \beta x + sh\beta x \cos \beta x]; \\ Y_3(x) &= \frac{1}{2} sh(\beta x) \sin \beta x; \\ Y_4(x) &= \frac{1}{4} [ch\beta x \sin \beta x - sh(\beta x) \cos(\beta x)]. \end{aligned} \right\} \text{ – функції А. Н. Крилова.}$$

Значення M_0 і Q_0 визначається за формулами (11) для трьох різних координат точки прикладання сили P : $x_1=a_1=14$ мм, $x_2=a_2=28$ мм, $x_3=a_3=40$ мм. При цьому використано граничні умови:

$$M(l) = M_0 Y_1(\beta l) + \frac{Q_0}{\beta} Y_2(\beta l) - \frac{P}{\beta} Y_2(\beta(l - a_i)) = 0;$$

$$Q(l) = -4\beta M_0 Y_4(\beta l) + Q_0 Y_1(\beta l) - P Y_1[\beta(l - a_i)] = 0.$$
(12)

На рис. 3, 4, 5, наведені результати розрахунку значень згинального моменту M і поперечної сили Q для випадку, коли діаметр оболонки $d=80$ мм, товщина оболонки $\delta_1=0,8$ мм і сила $P=2,27$ кН прикладена в точках з координатами 14 мм, 28 мм, 40 мм. Величину сили P визначали з умови появи пластичної деформації в зоні контакту інструменту у виді торіодального ролика із заготовкою за методикою, наведеною в роботі [6].

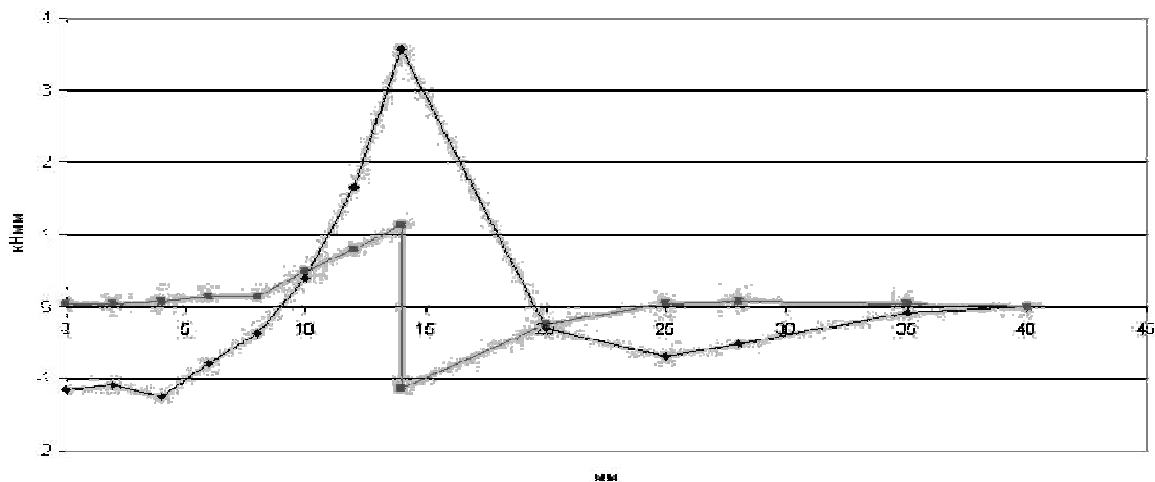


Рис. 3. Результати розрахунку розподілу M, Q по довжині заготовки, коли сила P прикладена в перерізі з координатою $x=a_1=14$ мм

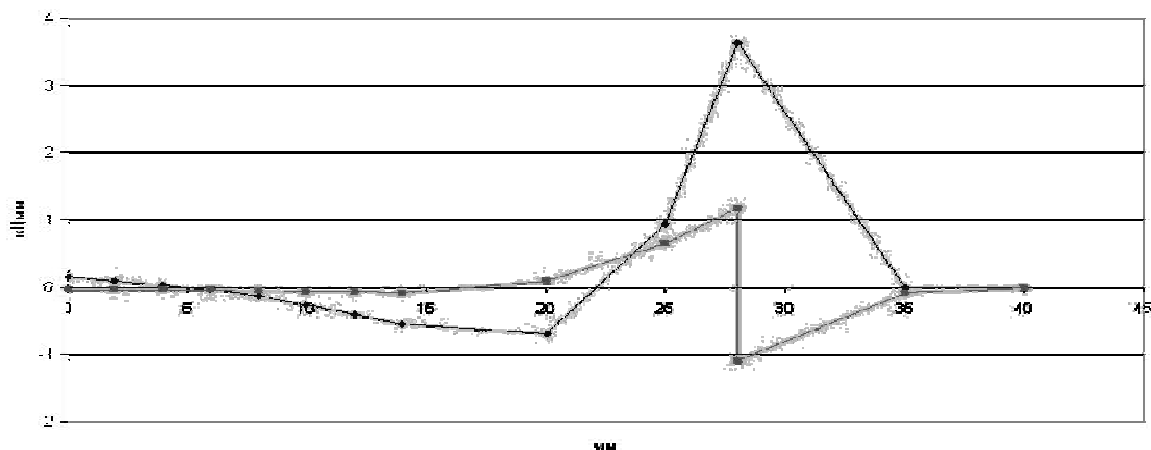


Рис. 4. Результати розрахунку розподілу M, Q по довжині заготовки, коли сила P прикладена в перерізі з координатою $x=a_2=28$ мм

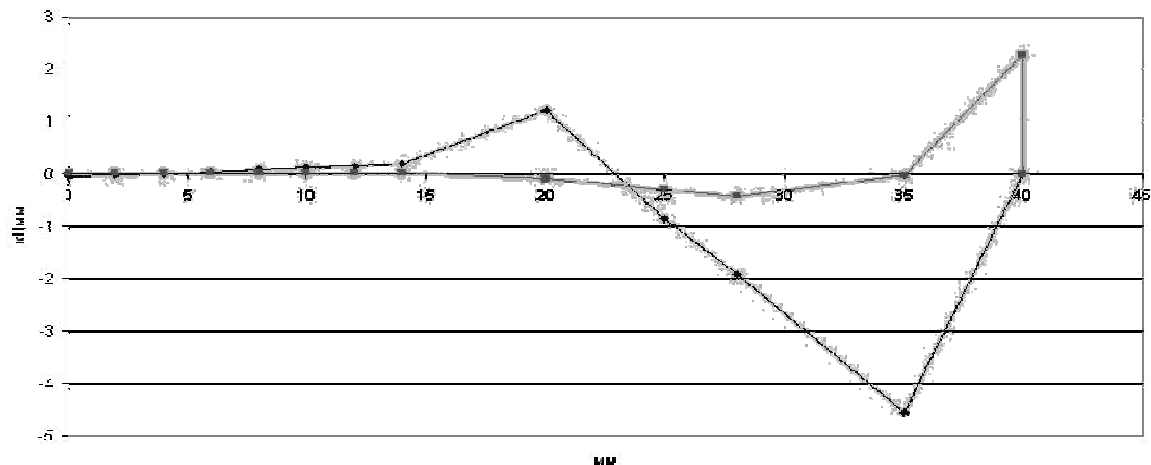


Рис. 5. Результати розрахунку розподілу M, Q по довжині заготовки, коли сила P прикладена в перерізі з координатою $x=a_3=40$ мм

Висновки

Отримані закономірності розподілу згинального моменту і поперечної сили в перерізі циліндричної оболонки по її довжині залежно від координати точки прикладання сили. Установлено, що на характер отриманих залежностей впливає величина прикладеної сили, координати точки її прикладання, радіус кривизни оболонки, товщина оболонки, жорсткість її поперечного перерізу та граничні умови задачі.

Література

1. Маленичев А. С. Взаимосвязь конструктивных характеристик оборудования и технологической оснастки для ротационной вытяжки с параметрами качества получаемы изделий / А. С. Маленичев // Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. – Тула : ТулГУ, «Гриф», 2000. – С. 215–221.
2. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Н. И. Могильный – М. : Машиностроение, 1983. – 190 с.
3. Трегубов В. И. Силовые режимы ротационной вытяжки цилиндрических деталей на специализированном оборудовании / В. И. Трегубов, С. П. Яковлев, С. С. Яковлев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2005. – № 1. – С. 17–23.
4. Наумов Д. М. Моделирование процесса ротационной вытяжки с утонением методом конечных элементов / Д. М. Наумов, А. И. Вальтер // Известия ТулГУ. Серия: Технические науки. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2011. – Вып. 5. – С. 324–332.
5. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твёрдого тела / Ю. Н. Работнов. – М. : Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1988. – 712 с.
6. Дрозд М.С. Инженерные расчёты упругопластической контактной деформации / М.С. Дрозд, М.М. Матлин, Ю.И. Сидякин. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.

Надійшла 27.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Огородніков В.А.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПЛОСКОЇ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЇ ПРОКАТКИ НА ВЕЛИЧИНУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ

В роботі проведено повний факторний експеримент процесу плоскої поперечно-клинової прокатки. Визначено вплив кутів інструменту, температури процесу на величину використаного ресурсу пластичності.

Ключові слова: поперечно-клинова прокатка, повний факторний експеримент, використаний ресурс пластичності.

In paper conducted the full factorial experiment process flat cross-wedge rolling. Defined the influence of the process temperature and working angles tool on the size of the used resource of plasticity.

Keywords: transversal-wedge rolling, complete factor experiment, utilized resource of plasticity.

Вступ

Плоска поперечно-клинова прокатка (ППКП) – високопродуктивна технологія обробки металів тиском. Основними перевагами цього процесу є зменшення витрат матеріалу та підвищення точності отриманих заготовок. Але даний процес має і недоліки, а саме: накопичення макротріщин під впливом циклічного навантаження і скручування заготовки за рахунок різниці швидкості інструмента та швидкості матеріалу заготовки в зоні контакту.

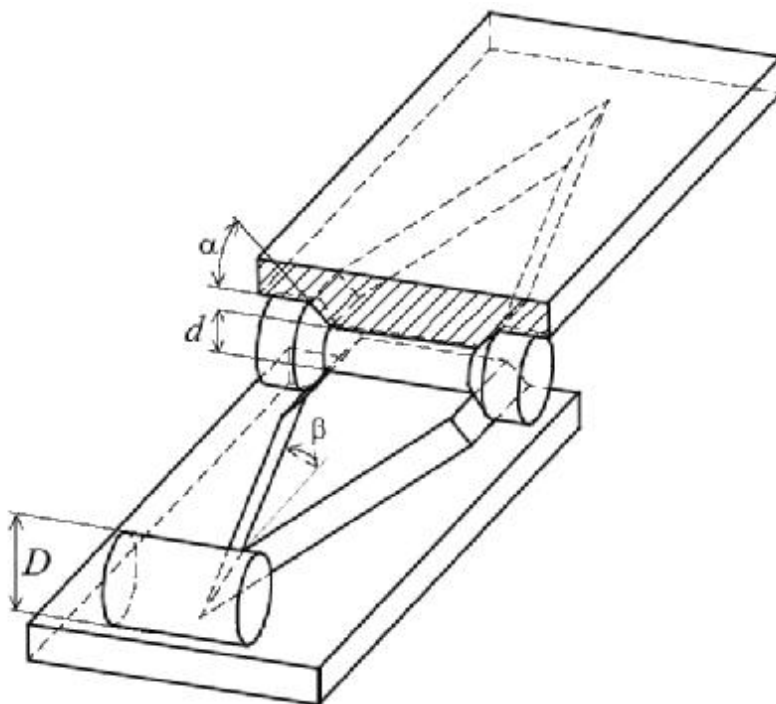


Рис. 1. Схема плоского клинового інструменту ППКП та його конструктивно-технологічні параметри: α – кут нахилу бічної грані; β – кут загострення; D – діаметр заготовки; d – діаметр прокатаного ступеня заготовки

Виконані дослідження [1, 2] підтвердили, що за несприятливого поєднання таких основних параметрів процесу поперечно-клинової прокатки, як кути нахилу бічної грані клина і загострення клина і температури, в суцільній заготівці може з'явитися макротріщина на її осі. Таке руйнування називається „розкриття порожнини”, або „Ефект Маннесмана”.

Для дослідження впливу параметрів процесу формозміни заготовки на величину використаного ресурсу пластичності проводили фізичний експеримент за планом повного багатofакторного експерименту, де досліджуваними факторами були: кут нахилу бічної грані α , кут загострення β та температура заготовки на початку деформації T , а параметром оптимізації був використаний ресурс пластичності, який визначали в меридіанальному перерізі заготовки.

Грунтуючись на результатах попередніх досліджень, в яких було встановлено, що небезпечною, з точки зору руйнування, є точка на вісі в площині переходу шийки заготовки шестерні в зубчастий вінець, дослідження використаного ресурсу пластичності за планом повного факторного експерименту будемо проводити для даної точки.

Враховуючи складність виготовлення інструменту для поперечно-клинової прокатки фізичний експеримент був обмежений стадією впровадження клина в заготовку і не включав в себе стадію калібрування та розділення заготовки.

Враховуючи те, що прокатка заготовки методом ППКП не дає можливості визначити використаний ресурс пластичності безпосередньо, було вирішено скористатись методикою запропонованою Красневським С.М. [3]. З попередньо прокатої заготовки з небезпечної, з точки зору руйнування, зони вирізали циліндричний зразок. Після цього отриманий зразок осаджували до руйнування.

Накопичену деформацію при осадці циліндричного зразка вирізаного з прокатої заготовки визначали за формулою

$$e_p^{ПКП} = \ln \frac{h_0}{h}, \quad (1)$$

де h_0 – початкова висота циліндричного зразка;
 h – висота циліндричного зразка при появі тріщини.

Накопичену деформацію при осадці нездеформованого циліндричного зразка визначали за формулою

$$e_p(-1;1) = \ln \frac{h_0}{h}. \quad (2)$$

Використаний ресурс пластичності ψ , що був використаний при осадці циліндричного зразка визначали виразом

$$\Delta\psi = \frac{e_p^{ПКП}}{e_p(-1;1)}. \quad (3)$$

Використаний ресурс пластичності при ПКП визначали за формулою

$$\psi = 1 - \Delta\psi. \quad (4)$$

Було обрано математичну модель [139], яка дозволяє представити результати досліджень у вигляді поліному:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3, \quad (5)$$

де X_1 – кодоване значення фактора α ;
 X_2 – кодоване значення фактора β ;
 X_3 – кодоване значення фактора T ;
 Y – параметр оптимізації – використаний ресурс пластичності.

Припускалось, що запропоновані нами фактори відповідають умовам керованості, сумісності та незалежності один від одного. Керованість факторів – можливість надавати їм довільний рівень в області визначення і фіксувати сталим протягом всього дослідження, сумісність – як можливість зафіксувати кожен з них на довільному рівні незалежно від значень інших факторів, а незалежність представляли як відсутність між ними кореляційного зв'язку.

На основі раніше проведених досліджень [4] вибирали наступні інтервали варіювання факторів (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактор	Кодове позначення	Інтервал	Рівні факторів		
		варіювання	Верхній	Основний	Нижній
		ϵ	+1	0	-1
α , град.	X_1	5	40	35	30
β , град.	X_2	2	11	9	7
T , °C	X_3	50	1000	950	900

Кількість дослідів, необхідна для реалізації всіх можливих сполучень рівнів факторів, визначається за залежністю $N = 2^k$, де N – число дослідів; k – число факторів; 2 – число рівнів. Отже, $N = 2^3 = 8$. Для проведення експерименту будемо матрицю планування повного трифакторного експерименту (табл. 2)

Таблиця 2

Матриця планування експерименту

№ дослідів	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	-	+	+	-	-	+	-
3	+	+	-	+	-	+	-	-
4	+	-	-	+	+	-	-	+
5	+	+	+	-	+	-	-	-
6	+	-	+	-	-	+	-	+
7	+	+	-	-	-	-	+	+
8	+	-	-	-	+	+	+	-

Знак «+» відповідає верхньому рівню фактора, а знак «-» – нижньому рівню.

Кожен з 8 дослідів, що вказані в плані проведення експерименту, повторювався 3 рази при незмінних режимах. З кожної прокатоної заготовки вирізали циліндричні зразки і осаджували. З отриманих результатів визначали середнє значення \bar{y} (табл. 3).

Таблиця 3

Використаний ресурс пластичності при ППКП

№ досліду	1	2	3	4	5	6	7	8
y_1	0,82	0,78	0,91	1	0,66	0,67	0,76	1
y_2	0,82	0,76	0,87	1	0,69	0,64	0,77	1
y_3	0,85	0,8	0,92	1	0,69	0,67	0,75	1
\bar{y}	0,83	0,78	0,9	1	0,68	0,66	0,76	1

Дисперсію паралельних дослідів S_y^2 параметра оптимізації y обчислювали за формулою

$$S_y^2 = \sum_{u=1}^N \frac{(y_u - \bar{y})^2}{(N-1)}.$$

В результаті розрахунків проведених на базі дослідів отримані значення дисперсій паралельних дослідів, які представлені в таблиці 4.

Таблиця 4

Значення дисперсії паралельних дослідів

Дослід №	1	2	3	4	5	6	7	8
Дисперсія паралельних дослідів, S_y^2	0,0003	0,0004	0,0007	0	0,0003	0,0003	0,0001	0

Однорідність дисперсії паралельних дослідів перевіряємо за G -критерієм Кохрена

$$G_p = \frac{S_{y_{\max}}^2}{\sum_{y=1}^N S_y^2} = \frac{0,0007}{0,0021} = 0,333.$$

Гіпотеза про однорідність дисперсії підтверджується, оскільки $G_{табл} = 0,5157 > G_p = 0,333$ при степені вільності $f_1 = 2$ та знаменника $f_2 = 8$ [5].

Дисперсія відтворюваності

$$S^2(y) = \sum_{y=1}^N S_y^2 / N = 0,0021 / 8 = 2,625 \cdot 10^{-4}.$$

Помилка експерименту

$$S(y) = \sqrt{S^2(y)} = \sqrt{2,625 \cdot 10^{-4}} = 0,016.$$

Вільний член b_0 обчислюємо за формулою $b_0 = \sum_{i=1}^N \frac{\bar{y}_i}{N} = 0,82625$.

Значення коефіцієнтів b знаходили за формулою

$$b_i = \frac{x_{ij} y_j}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{N},$$

де x_{ij} – кодоване значення (± 1) i -го фактора в j -му досліді;

y_j – значення параметра оптимізації в j -му досліді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті розрахунків отримали значення коефіцієнтів рівняння регресії, які наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Коефіцієнти рівняння регресії

Коефіцієнти	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Значення	-0,03375	-0,08875	0,05125	0,05125	0,02125	0,01625	-0,01375

Перевіримо статистичну значущість коефіцієнтів за t -критерієм Стьюдента. Враховуючи те, що проводиться повний факторний експеримент, то помилки всіх коефіцієнтів рівні між собою

$$S(b_i) = S(y) / \sqrt{N \cdot r} = 0,016 / \sqrt{8 \cdot 3} = 0,00324.$$

Довірчий інтервал довжиною $2Db_i$

$$\Delta b_i = \pm t_{кр} \cdot S(b_i) = \pm 2,12 \cdot 0,00324 = \pm 0,00686.$$

Критичне значення $t_{кр} = 2,12$ приймали згідно з [5]. Враховуючи те, що абсолютні величини коефіцієнтів регресії більші довірчого інтервалу, то всі вони є статично значимими.

За результатами проведених досліджень отримано рівняння:

$$Y = 0,82625 - 0,03375X_1 - 0,08875X_2 + 0,05125X_3 + 0,05125X_1X_2 + 0,02125X_1X_3 + 0,01625X_2X_3 - 0,01375X_1X_2X_3. \quad (6)$$

Перевірку гіпотези адекватності моделі виконуємо за F -критерієм Фішера.

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2},$$

де дисперсію адекватності визначаємо за формулою

$$S_{ad}^2 = \sum_{j=1}^N \frac{(y_j - \hat{y}_j)^2}{f},$$

де y_j – експериментальне значення параметра оптимізації в j -му досліді;

\hat{y}_j – значення параметру оптимізації, яке обчислюється за моделлю для умови j -го досліді;

f – число ступенів вільності: $f = N - (k + 1)$;

k – число факторів.

Так як $F_p = 1,56 < F_p^{табл} = 3,24$, то можна зробити висновок, що отримана нами математична модель адекватна.

Висновки

В роботі проведено фізичний експеримент за планом повного багатофакторного експерименту, де досліджуваними факторами були: кут нахилу бічної грані α , кут загострення β та температура заготовки на початку деформації T , а параметром оптимізації був використаний ресурс пластичності, який визначали в меридіанальному перерізі заготовки. Побудовано математичну використаного ресурсу пластичності при ППКП у вигляді поліному. Значимість коефіцієнтів було перевірено за t -критерієм Стьюдента, при цьому було підтверджено значимість впливу кутів інструменту та температури процесу на використаний ресурс пластичності. Адекватність математичної моделі підтвердили за критерієм Фішера.

Література

1. Сегал В.М. Разрушение в осевой зоне заготовок при пластическом формоизменении металлов / В.М. Сегал // Машиноведение. – 1980. – № 2. – С. 108–113.
2. Красневский С.М. Разрушение металлов при пластической деформации / Красневский С.М., Макушок Е.М., Щукин В.Я. – Минск : Наука и техника, 1983. – 173 с.
3. Красневский С. М. Исследование деформируемости металлов с целью совершенствования технологии поперечно-клиновой прокатки : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / С. М. Красневский. – Минск, 1982. – 20 с.
4. Поперечно-клиновая прокатка в машиностроении / [А. И. Целиков и др.]; под ред. А. И. Целикова. – М. : Машиностроение, 1982. – 192 с.
5. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.

Надійшла 23.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Сивак І.О.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛОИСТЫХ БАЛОК

Изложены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивно-технологических факторов на демпфирующую способность составных слоистых балок.

Ключевые слова: коэффициент потерь, частота, балка.

The results of experimental researches of influence of structurally-technological factors are expounded on the damping capacity of the component stratified beams.

Keywords: coefficient of losses, frequency, beam.

Постановка проблемы

Вибрационная техника с каждым годом расширяет область своего применения в различных отраслях промышленности, транспорта, сельского хозяйства. Значительный уровень вибрации является основной причиной появления интенсивных динамических нагрузок, передаваемых на несущие конструкции и фундамент. Это может стать не только причиной потери устойчивости и разрушения элементов конструкций, но и причинить вред здоровью человека. Таким образом, создание эффективных методов и средств виброзащиты является одной из важнейших задач, стоящих перед разработчиками современного вибрационного оборудования.

Анализ последних публикаций

Известно, что одним из наиболее эффективных способов снижения виброактивности указанного оборудования является применение вибропоглощающих покрытий [1– 4]. Подавляющее большинство средств вибропоглощения позволяет значительно снизить уровни вибрации в области средних и высоких звуковых частот. В области же низких звуковых частот, сопряжено со следующими трудностями:

1. Потери колебательной энергии, связанные с вибропоглощением, должны значительно превышать потери, обусловленные демпфирующим влиянием амортизации и другими механизмами конструкционного демпфирования.

2. Эффективное демпфирование колебаний несущих конструкций требует создание покрытий, сравнимых по жесткости с демпфируемой структурой.

Одним из возможных путей устранения указанных недостатков является применение составных элементов балочной формы равной жесткости, между которыми размещен полимерный вибропоглощающий материал.

Известен способ увеличения уровня рассеивания энергии в балках рамы за счет нанесения покрытия ВМЛ-25 на ее поверхность [5]. Главным его недостатком является увеличение массы балки.

Цель настоящей работы состоит в изучении влияния конструктивно-технологических факторов на демпфирующую способность составных слоистых балок.

Изложение основного материала

Для достижения цели работы были использованы составные слоистые балки четырех модификаций:

1) стальная балка, длиной 1 м, состоящая из двух частей из двух швеллеров № 6,5, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ ВПС-2,5, толщиной 1,5 мм, соединенных между собой болтами (рис. 1,а, б) (модификация 1);

2) стальная балка длиной 1 м, состоящая из двух уголков № 7, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ ВПС-2,5, толщиной 1,5 мм, соединенных между собой болтами (рис. 1,в) (модификация 2);

3) стальная балка длиной 1 м, состоящая из четырех швеллеров № 6,5, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ ВПС-2,5, толщиной 1,5 мм, соединенных между собой болтами (рис. 1,г) (модификация 3);

4) стальная балка из швеллера № 12, длиной 1 м (штатная конструкция).

Испытания по определению коэффициента потерь проводили при комнатной температуре методом резонансной кривой на экспериментальной установке (рис. 2), которая обеспечивает:

1) возможность проводить испытания в широком диапазоне температур и частот;

2) резонансный принцип возбуждения изгибных колебаний образца с помощью электродвигателя с эксцентриком.

Испытания образцов осуществляли в следующей последовательности.

Исследуемые образцы 2 устанавливались в зажиме гидравлического пресса, препарировались вибродатчиком 3 типа ДН-4-1М вблизи его захвата (рис. 2).

Возбуждения изгибных колебаний балки осуществлялись с помощью дисбаланса, возникающего при вращении неуравновешенного груза 5 на валу электродвигателя переменного тока 4. Контроль за частотой возбуждения колебаний осуществлялся по шкале электронного счетчика 6. Схемы приложения вибрационных нагрузок к балкам представлены на рис. 1.

Колебания балки 2 регистрировались с помощью вибродатчика 3, сигнал с которого через усилитель 8 поступал на вольтметр 7 и осциллограф 10.

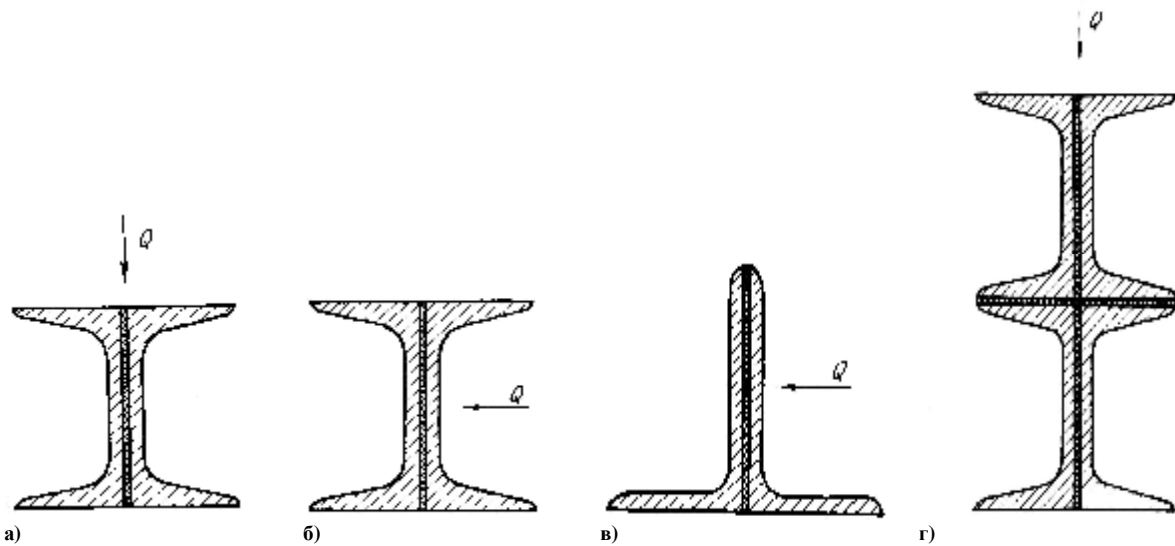


Рис. 1. Образцы балок для испытаний, состоящие из двух (а, б) и четырех (г) швеллеров, двух уголков (в), схемы приложения вибрационных нагрузок к балкам

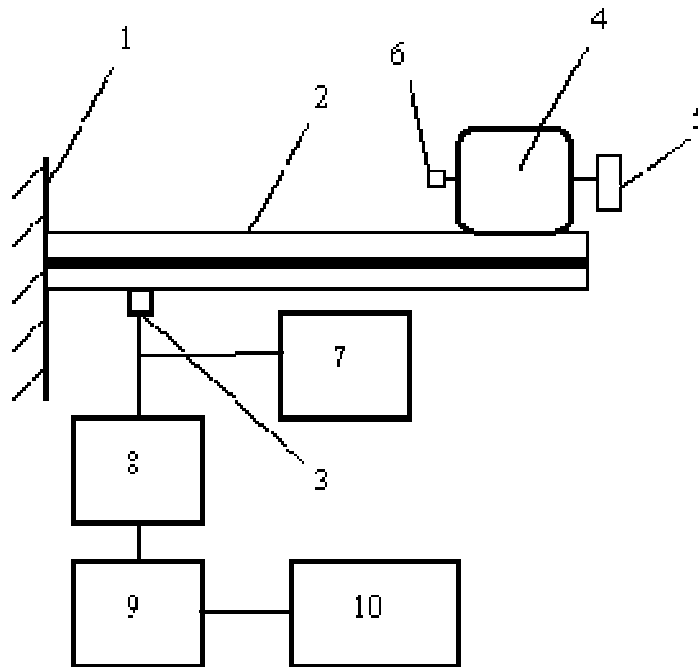


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки:
1 – Пресс гидравлический; 2 – Слоистая балка; 3 – Вибродатчик; 4 – Электродвигатель; 5 – Эксцентрик; 6 – Счетчик электронный; 7 – Вольтметр электронный; 8 – Усилитель 8АНЧ-26; 9 – Частотомер; 10 – Осциллограф

Плавно изменяя частоту возбуждения в диапазоне от 1 до 400 Гц, определяли спектр резонансных частот колебаний объекта испытаний. Каждый опыт повторяли три раза, полученные результаты усредняли.

Зеркальная шкала вольтметра обеспечивает четкую фиксацию максимума для определения резонансных частот и необходимых отклонений от максимума для определения коэффициента механических потерь.

Коэффициент потерь η определяли по ширине резонансной кривой (рис. 3) [6]:

$$\eta = K_{0,7} \frac{\Delta f_{0,7}}{f_0}, \quad (1)$$

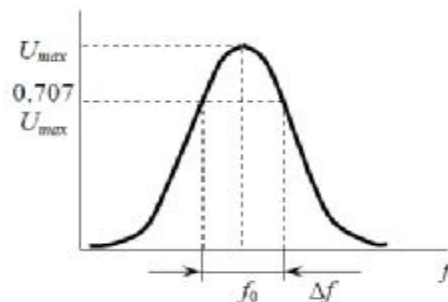


Рис. 3. Резонансная кривая

где $\Delta f_{0,7}$ – ширина резонансной кривой на уровне 0,707 от максимальной амплитуды;

f_0 – резонансная частота.

По результатам проведенных испытаний слоистых балок в диапазоне низких частот (от 20 до 100 Гц) были определены коэффициенты потерь (рис. 4).

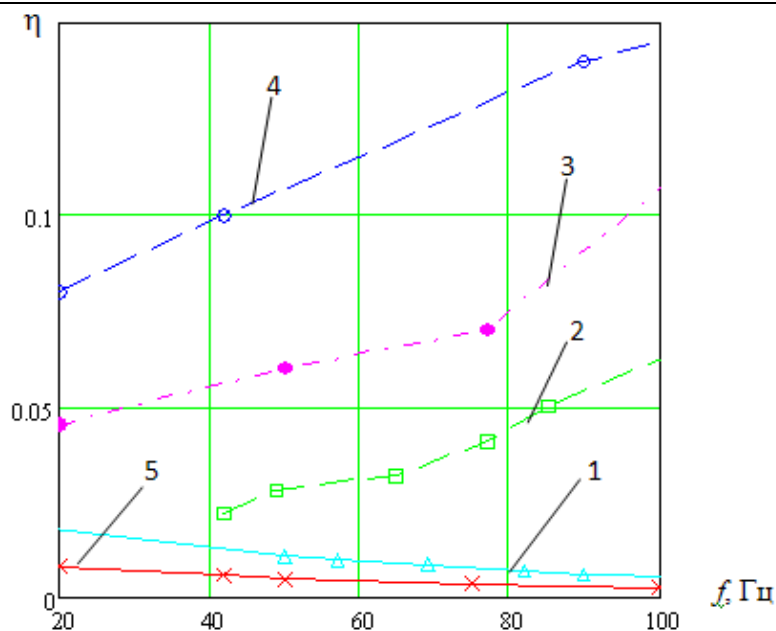


Рис. 4. Залежності середніх значень коефіцієнтів потерь от частоты возбуждения, для исследуемых балок четырех модификаций:

- 1) стальная балка, длиной 1 м, состоящая из двух швеллеров № 6,5, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ ВПС-2,5, толщиной 1,5 мм, соединенных между собой болтами (рис. 1,а) (модификация 1);
- 2) стальная балка, длиной 1 м, состоящая из двух швеллеров № 6,5, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ ВПС-2,5, толщиной 1,5 мм, соединенных между собой болтами (рис. 1,б) (модификация 1);
- 3) стальная балка длиной 1 м, состоящая из двух уголков № 7, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ ВПС-2,5, толщиной 1,5 мм, соединенных между собой болтами (рис. 1,в) (модификация 2);
- 4) стальная балка длиной 1 м, состоящая из четырех швеллеров № 6,5, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ ВПС-2,5, толщиной 1,5 мм, соединенных между собой болтами (рис. 1,г) (модификация 3);
- 5) стальная балка из швеллера № 12, длиной 1 м (штатная конструкция).

Представленные экспериментальные данные (рис. 4) свидетельствуют о том, что при одинаковом уровне вынуждающих сил и толщине демпфирующего покрытия, уровень демпфирования балок, состоящих из четырех швеллеров, в 2-3 раза превосходит таковой для балок, состоящих из 2-х уголков, в 5-6 раз – для балок, состоящих из 2-х швеллеров, и в 10–12 раз – для балок из швеллера (штатная конструкция).

Наибольшей демпфирующей способностью обладают балки, состоящие из четверых швеллеров, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ, которые способны демпфировать изгибные колебания в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Из рис. 4 видно, что при одинаковом конструктивном исполнении уровень демпфирования балок, к которым приложена нагрузка, действующая в плоскости, перпендикулярной к плоскости покрытия (рис. 1,б), в 2–4 раза превосходит таковой для балок, нагруженных силой в параллельной плоскости (рис. 1,а).

Выводы

В результате исследований показано, что слоистые балки с вибропоглощающим покрытием являются эффективным средством снижения виброактивности рам механизмов.

Наиболее приемлемой для изготовления рам вибрационного оборудования является балка, состоящая из четырех швеллеров, с расположенным между ними демпфирующим материалом ВИПОНИТ, которая способна демпфировать изгибные колебания в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Литература

1. Генкин М.Д. Вибрация машиностроительных конструкций / М.Д. Генкин, Г.В. Тарханов. – М. : Наука, 1979. – 164 с.
2. Никифоров А.С. Вибропоглощение на судах / Никифоров А.С. – Л. : Судостроение, 1979. – 184 с.
3. Нашиф А. Демпфирование колебаний / Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. – М. : Мир, 1988. – 488 с.
4. Пановко Я.Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем / Пановко Я.Г. – М. : Физматгиз, 1960. – 93 с.
5. Белов В.Д. Демпфирование вибраций рам вибропоглощающими покрытиями: эксперимент и расчет / В.Д. Белов, Б.А. Канаев // Акустический журнал. – 1992. – Т. 38, № 3. – С. 540–543.
6. Клюкин И.И. Акустические измерения в судостроении / И.И. Клюкин, А.Е. Колесников. – Л. : Судостроение, 1982. – 256 с.

Надійшла 5.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Ковтун В.В.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ З ДИЗЕЛЬНИМИ ДВИГУНАМИ

В статті здійснено аналіз токсичних хімічних речовин, що містяться у відпрацьованих газах дизеля, які надають шкідливий вплив на людину і навколишнє середовище при безпосередній взаємодії з ними. Вказані можливі шляхи зниження викидів в атмосферу найбільш токсичних компонентів відпрацьованих газів дизелів.

Ключові слова: автомобільний транспорт, дизель, забруднення.

The paper analyzes the toxic chemicals contained in the exhaust gases of diesel, which have harmful effects on humans and the environment with direct interaction with them. and listed possible ways to reduce emissions of the most toxic components of exhaust gases of diesel engines.

Keywords: motor transport, diesel, contamination.

Вступ. Екологічні проблеми експлуатації вантажних автомобілів з дизельними двигунами обумовлені споживанням природних ресурсів, забрудненням атмосфери шкідливими речовинами, руйнівною дією безпосередньо на організм людини шуму і вібрації, а також тепловим випромінюванням, пов'язаним з їх роботою.

Розвиток автомобільного транспорту висуває на перше місце проблему забруднення атмосферного повітря. Підвищені локальні концентрації токсичних викидів спостерігаються в місцях інтенсивного руху автомобільного транспорту. Шкідливі викиди чинять негативний вплив не тільки на організм людини, а й на навколишнє середовище, у тому числі продукти згоряння палива забруднюють рослинність, воду, ґрунт і споруди. Найбільше забруднене повітря великих міст. Вклад автомобільного транспорту в сумарні викиди шкідливих речовин Києва, Харкова, Полтави та інших міст України становить близько 70 % [1, 2], а в районах транспортних магістралей вміст шкідливих компонентів у атмосферному повітрі може перевищувати гранично допустимі концентрації в кілька разів.

Так само як і показники витрати палива, утворення токсичних речовин в циліндрі дизеля знаходиться в безпосередній залежності від організації сумішоутворення і згоряння. Тому заходи, спрямовані на поліпшення паливної економічності, відповідним чином змінюють зміст в відпрацьованих газах різних токсичних компонентів. Рішення проблеми полягає в комплексному підході, обґрунтуванні та практичній реалізації правильного поєднання прийнятих, часто компромісних, заходів, заснованих на теоретичних та експериментальних дослідженнях, доводочних роботах, з перевіркою двигунів на відповідність нормативним вимогам і подальшим впровадженням у виробництво.

У зарубіжній практиці нерідкі випадки, коли забезпечення жорстких норм до токсичності викидів досягається шляхом погіршення паливної економічності дизеля на певних режимах роботи. Враховуючи обмеженість паливних ресурсів, для дизелів українського виробництва такий підхід неприйнятний.

Основна частина. Можна розрізнити три рівні заходів, спрямованих на вдосконалення екологічних показників двигунів внутрішнього згоряння за рахунок впливу на сумішоутворення і згоряння. У першу чергу, реалізуються заходи, які забезпечують зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів, що знаходяться у виробництві, без значних витрат і в найкоротші терміни. До другого рівня слід віднести заходи, які також стосуються двигунів які випускаються, але потребують значного фінансування на підготовку виробництва. Третій рівень передбачає докорінну модернізацію існуючих або створення та впровадження у виробництво нових двигунів з малотоксичними робочими процесами, що вимагає великих капіталовкладень і термінів освоєння. Причому реалізація будь-якого із зазначених рівнів повинна відповідати умові збереження вихідних значень споживання дизельного палива в експлуатації або їх зменшення.

Відпрацьовані гази дизелів представляють собою гетерогенну суміш різних речовин з різноманітним хімічним і фізичним складом, на 99... 99,98 % складається з продуктів повного згоряння палива і повітря. І тільки решта 0,02... 1 % відпрацьованих газів містять токсичні речовини. Основна маса токсичних компонентів відпрацьованих газів (до 90 %) є газоподібної. Частина виділяється у вигляді твердої і рідкої фаз [3]. Найбільш небезпечні для здоров'я людей, тварин і рослин оксид вуглецю, вуглеводні, бенза-а-пірен, альдегіди, сажа, оксиди азоту, оксиди сірки.

Виділяються при згоранні з відпрацьованими газами дизелів шкідливі речовини можна класифікувати наступним чином:

- речовини, що утворилися в результаті неповного згорання палива і масла – оксид вуглецю, вуглеводні, сажеві частки;
- оксиди азоту, що утворилися в результаті реакцій окиснення атмосферного азоту;
- оксиди сірки, золи, частки пилу і зносу деталей двигуна;
- діоксид вуглецю.

Нижче наведено короткі характеристики найбільш токсичних компонентів відпрацьованих газів дизелів.

Оксид вуглецю (CO).

Токсична дія CO на організм людини пов'язана зі зміною складу крові і ураженням нервової системи.

Оксид вуглецю утворюється при роботі дизеля на максимальних навантаженнях в зонах камери згоряння з низьким вмістом кисню, а також при роботі на холостому ходу внаслідок зниження температури і уповільнення окислювальних реакцій. Концентрація CO у відпрацьованих газах доведених і правильно відрегульованих дизелів не перевищує 0,05... 0,2 % за об'ємом.

Вуглеводні (C_nH_m).

Група вуглеводнів, що містяться в відпрацьованих газах, налічує кілька десятків сполук. Парафінові і олефінові вуглеводи викликають неприємний запах, подразнюючу дію, а також численні хронічні захворювання. Ароматичні вуглеводні, володіючи сильними отруйними властивостями, впливають на кровообіг, центральну нервову і м'язову системи. Найбільшу небезпеку для людини представляють альдегіди і поліциклічні ароматичні вуглеводні – бенз-а-пірен, що володіє канцерогенними властивостями.

Емісія вуглеводнів в відпрацьованих газах дизелів пов'язана з придушенням реакцій окиснення холодними стінками камери згоряння, а також в зазорах між стінками циліндра над першим компресійним кільцем, навколо клапанів, між поверхнею поршня і головкою циліндра [4]. Максимальна кількість вуглеводнів виділяється при роботі двигуна на холостому ходу. Однак у разі погані організації робочого процесу або при зносі деталей циліндропоршневої групи збільшення викиду вуглеводнів може спостерігатися і при максимальних навантаженнях. Джерелом викиду вуглеводнів з відпрацьованих газів дизеля може бути також підтікання палива з підгольного обсягу розпилювача форсунки. В цьому випадку об'ємне зміст газоподібних вуглеводнів в відпрацьованих газах може досягати 0,1 %.

Бенз-а-пірен утворюється при температурах 400... 700 оС в умовах дефіциту кисню в результаті піролізу важких фракцій палива та мастила. При температурах понад 1000 оС бенз-а-пірен розкладається на водень і сажу, тому його утворення і збереження можливо у відносно холодних пристінкових шарах, покритих масляною плівкою.

Значення мастила в утворенні бенз-а-пірену підтверджується тим, що зі збільшенням зносу циліндропоршневої групи вміст бенз-а-пірену збільшується в багато разів.

Кількість визначеного в відпрацьованих газів дизелів бенз-а-пірену в значній мірі обумовлено вибором місця і методу відбору проб. Залежно від способу охолодження відпрацьованих газів бенз-а-пірен може бути переведений з газоподібного в рідкий і твердий стан. Бенз-а-пірен добре адсорбується і утримується на дизельній сажі.

Альдегіди складають групу кисневмісних вуглеводнів. В відпрацьованих газах, в основному, виявляються формальдегід і акролеїн, які мають загально токсичними властивостями. Найбільші концентрації альдегідів в відпрацьованих газах відзначаються при роботі дизеля на малих навантаженнях і при холодному пуску.

Оксиди азоту (NO_x).

Оксиди азоту в повітрі взаємодіють з парами води, утворюючи азотну кислоту, яка руйнує легеневу тканину, викликає хронічні захворювання. Поглинаючи природну фонову радіацію в ультрафіолетовій і видимій частині спектру, оксиди азоту знижують прозорість атмосфери і беруть участь в утворенні фотохімічного туману – смогу. В відпрацьованих газах дизеля 95... 98 % припадає на оксид NO і 2... 5 % на діоксид NO₂, які сумарно позначаються NO_x. Зміст інших оксидів азоту в відпрацьованих газах (N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅) вкрай незначно. Оксид азоту, потрапляючи в атмосферу, доокислюється до NO₂.

Головним чином, оксиди азоту, що утворюються в циліндрі дизеля, є продуктом окислення азоту повітря. В даний час розрізняють три види утворення оксидів азоту: термічний, яка у результаті високотемпературного окислення азоту повітря; паливний, що виникає при низькотемпературному окисленні азотовмісних сполук палива; швидкий, який виявляється при зіткненні вуглеводневих радикалів з молекулами азоту в зоні реакцій горіння. Отже, утворення NO_x залежить від умов згоряння палива в циліндрі. Максимальний об'ємний вміст оксидів азоту в відпрацьованих газах сучасних дизелів вантажних автомобілів не перевищує 0,25 %.

Оксиди сірки (SO_x).

SO_x які викидаються в атмосферу, взаємодіючи з повітрям, утворюють ангідрид SO₃, який з парами води, в свою чергу, утворює сірчисту кислоту, що викликає захворювання дихальних шляхів, що завдає шкоди рослинам. Оксиди сірки є продуктом окислення сірки, що знаходиться в дизельному паливі, тому викид SO_x пропорційний вмісту сірки в паливі і не може бути компенсований за рахунок поліпшення процесу згоряння.

Сажа.

Сажа складається з частинок твердого вуглецю, що включає в себе водень. Наявність сажі в відпрацьованих газах призводить до забруднення повітря і погіршення видимості. Частинки сажі здійснюють шкідливий вплив на дихальні органи людини.

Механізм утворення сажі складний і пов'язаний з великим числом хімічних реакцій. Відповідно до сучасних уявлень [5] частинки вуглецю утворюються в процесі піролізу молекул в паровій фазі, що відбувається у високотемпературній зоні паливної струї при нестачі кисню. Утворення сажі максимально при температурі горіння близько 1500 оС і зменшується як при зниженні, так і при збільшенні температури.

Утворені на стадії дифузійного горіння частинки сажі на такті розширення і у випускному колекторі при наявності вільного кисню частково вигорають. Вміст сажі в відпрацьованих газах залежить від способу та умов сумішоутворення, режимів роботи двигуна, від типу палива. Як правило, зі збільшенням навантаження виділення сажі зростає. Присутність сажі у відпрацьованих газах обумовлює їх оптичну непрозорість (димність), але найбільшу небезпеку для навколишнього середовища представляє те, що на сажових частинках адсорбуються мутагенні і канцерогенні незгорілі вуглеводні палива і масла [6, 7]. У зв'язку з цим, сучасні методи контролю шкідливих викидів з відпрацьованих газів дизелів поряд з оцінкою димності передбачають визначення та нормування твердих частинок, які поряд з сажовими частками, включають висококиплячі вуглеводні та інші частинки, що викидаються з відпрацьованими газами.

Перераховані токсичні хімічні речовини, що містяться в відпрацьованих газах дизеля, надають шкідливий вплив на людину і навколишнє середовище при безпосередній взаємодії з ними. Однак необхідно обов'язково враховувати і непрямий шлях негативної дії шкідливих викидів, що є можливою причиною глобальних екологічних катастроф, таких як утворення фотохімічного «смогу» і «парникового ефекту».

Фотохімічний «смог» з'являється в результаті вторинного забруднення повітря при розкладанні забруднюючих речовин, у тому числі оксиду вуглецю і оксидів азоту, що викидаються в атмосферу з відпрацьованими газами ДВЗ.

Особливість «парникового ефекту» полягає в тому, що в його утворенні основну роль (поряд з кисневмісних вуглеводнів, метаном і твердими частинками) грає діоксид вуглецю – продукт повного згоряння вуглеводневих палив, речовина, яка не є токсичним для організму людини.

Вважається, що парниковий ефект виникає при проникненні сонячної енергії до земної поверхні і віддзеркалення від неї в атмосферу у вигляді інфрачервоного випромінювання. Частина цього випромінювання поглинається парниковими газами, утруднюючи зворотне проникнення його в космос, і тим самим, впливаючи на підвищення температури поверхні Землі. Зі збільшенням викиду CO₂, пов'язаного з виробленням енергії, можлива зміна клімату та географії планети. Підігрів поверхні може також вплинути на рослинний і тваринний світ, викликати танення полярних льодів і підйом рівня світового океану.

В даний час в усьому світі встановлено більше 500 мільйонів двигунів внутрішнього згоряння на автомобільному транспорті і допоміжних агрегатах, які споживають близько 1200 мільйонів тонн палива. В цьому випадку внесок двигунів внутрішнього згоряння автомобільного транспорту в викиди діоксиду вуглецю, пов'язаного зі спалюванням нафтопродуктів, може становити 25– 30 %.

Висновки. Для зниження викиду в атмосферу діоксиду вуглецю необхідне:

- застосування двигунів внутрішнього згоряння, які забезпечують в експлуатації максимально можливий коефіцієнт корисної дії;
- раціональне використання автомобільного транспорту;
- застосування альтернативних палив, що скорочують викид CO₂.

Література

1. Задніпровський В.В. Стан, проблеми та перспективи екології Харківщини / В.В. Задніпровський, В.В. Максименко // Труды VIII Междунар. науч. – техн. конф. [«Экология и здоровье человека. Охрана воздушного, водного бассейнов, утилизация отходов»]. – Щелкино, АР Крым, 2000. – Т. 2. – С. 10 – 14.
2. Гладков О.А., Лерман Е.Ю. Создание малотоксичных дизелей речных судов / О.А. Гладков, Е.Ю. Лерман. – Л. : «Судостроение», 1990. – 112 с.
3. Звонов В.О. Стан та проблеми екології автомобільного транспорту України / В.О. Звонов, А.М. Редзюк // Автошляховик України. – 1995. – № 4. – С. 17– 19.
4. Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ : [учеб. пособие для студентов вузов по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" / под общей ред. Р.М. Петриченко]. – Л. : Машиностроение, 1990. – 328 с.
5. Малов Р.В. Рабочие процессы и экологические качества ДВС / Р.В. Малов // Автомобильная промышленность. – 1992. – № 9. – С. 10– 15.
6. Каніло П.М. Автомобіль та навколишнє середовище / Каніло П.М., Бей І.С., Ровенський О.І. – Х. : Прапор, 2000. – 304 с.

Надійшла 25.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Лисий М.І.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РАМЫ ПОЛУПРИЦЕПА ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Исследовано напряженно-деформированное состояние рамы полуприцепа методом конечных элементов. На основе уточненной конечно-элементной модели рамы получены поля напряжений, позволяющие сделать вывод о неполном использовании материала конструкции.

Ключевые слова: рама полуприцепа, метод конечных элементов, натурный эксперимент, напряженно-деформированное состояние.

The analysis mode of deformation of a frame of the semi-trailer by a finite element method. On the basis of the specified finite element model of a frame stress fields allowing to draw a conclusion about incomplete use of a material of a design are received.

Keywords: frame of semitrailer, method of eventual elements, model experiment, tensely-deformed state.

Введение

При создании современных автомобилей все больше внимания уделяется получению оптимальной жесткости и прочности несущей системы. Это вызвано стремлением не только снизить массу автомобиля, но и получить требуемые параметры устойчивости и управляемости, а также добиться удовлетворения требований пассивной безопасности, которые с каждым годом становятся все жестче. Традиционно при создании несущих систем конструкторы работали «от прототипа», перенося в каждую последующую конструкцию достоинства и недостатки предыдущих автомобилей или автомобилей-аналогов. Расчетные методы, в силу их трудоемкости и сравнительно низкой точности, использовались лишь на самых ранних стадиях эскизного проектирования. В результате автомобили могли иметь излишний вес, неравнопрочную конструкцию, перепады жесткости.

В настоящее время задачи, возникающие при проектировании автомобилей, в силу разнообразия и противоречивости требований, предъявляемых к конструкции, невозможно решить в приемлемые сроки без широкого использования методов математического моделирования и компьютерного анализа. К этому вынуждает и острая конкуренция на мировом автомобильном рынке, что приводит к стремлению сократить сроки и стоимость разработки автомобилей. Такой подход позволяет уже на ранних стадиях проектирования получать конструкции с требуемыми параметрами, что приводит в дальнейшем к значительному сокращению работ по доводке автомобиля.

Наибольшее распространение при анализе напряжений и деформаций в инженерных конструкциях получил метод конечных элементов.

Постановка задачи

Целью работы является построение конечно-элементной модели рамы полуприцепа, максимально приближенной к реальной, и исследование напряженно деформированного состояния рамы с выявлением как опасных зон конструкции, так и недогруженных элементов.

Результаты исследований

Предметом исследования является двухосный полуприцеп-платформа (рис.1), предназначенный для перевозки одного 40-футового или двух 20-футовых контейнеров типа 1AA и 1CC или одного 20-футового контейнера (полной массой 30 тонн), по территории порта с седельными тягачами: Терберг, Оттава, Мафи, МАЗ и др. Масса перевозимого груза — 60000 кг; масса полуприцепа — 7000 кг; габаритные размеры: 13000x2700 мм.

Рама полуприцепа является сварной конструкцией из низколегированной и углеродистой стали. Лонжероны выполнены из прокатного двутавра №50. Поперечины цельные (неразрезные), выполнены из прокатного профиля швеллерного типа, сдвоенные. Опорная плита в районе шкворня выполнена из листовой стали толщиной 10 мм. Платформа рамы оборудована специальными уловителями высотой 250 мм для установки контейнеров, расположенными по периметру платформы.

Одним из наиболее важных этапов конечно-элементного анализа является построение сетки конечных элементов. В существующих программных комплексах, как правило, предусматриваются два основных метода: построение произвольной сетки и упорядоченной. Геометрия рассматриваемой модели такова, что невозможно построить только упорядоченную сетку. Поэтому, при разбиении элементов сложной геометрии использована произвольная сетка.

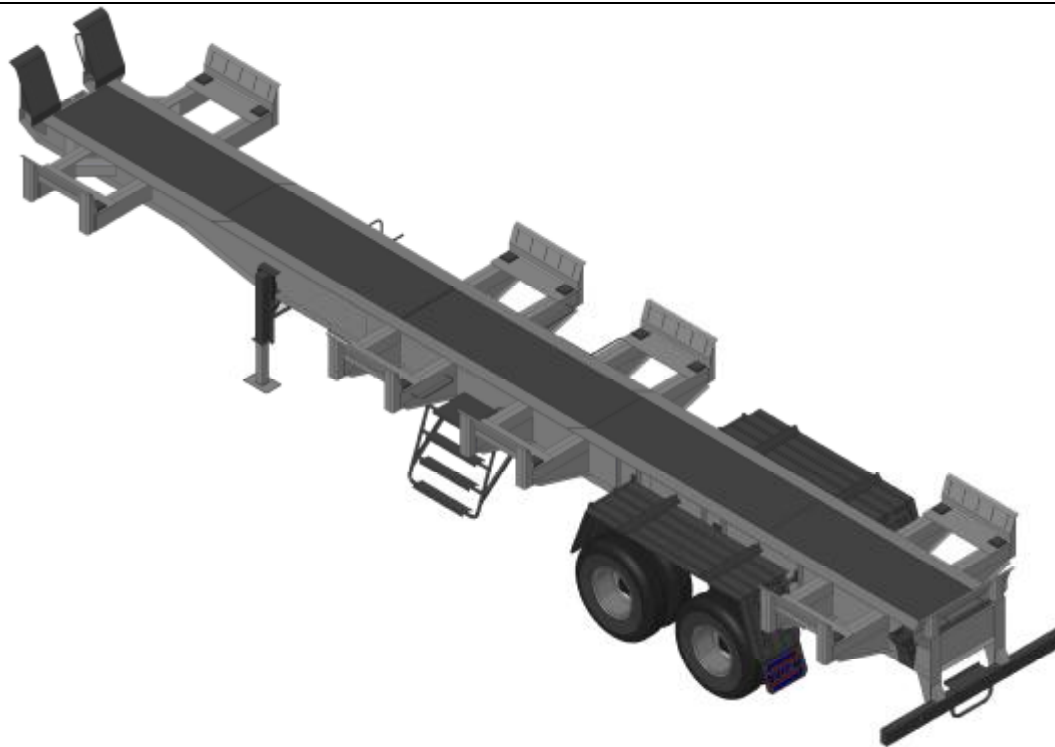


Рис.1. Двухосный полуприцеп-платформа

Точность расчета с помощью МКЭ зависит от правильного выбора типов и размеров конечных элементов. Построенная модель аппроксимирована конечными элементами тонкой оболочки. Геометрия оболочечных элементов определялась срединной поверхностью элементов рамы.

Элемент позволяет учитывать мембранное растяжение-сжатие и изгиб, имеет шесть степеней свободы в каждом узле — перемещения в направлениях осей X, Y, Z узловой системы координат и углы поворотов вокруг этих осей. Элемент может принимать вырожденную треугольную форму, что особенно удобно при рассмотрении конструкций сложной конфигурации.

Перед созданием конечно-элементной сетки необходимо выделить предполагаемые области концентрации напряжений, в которых сетку сгущают. В то же время крупная сетка может применяться в зонах с мало изменяющимися относительными деформациями или напряжениями, а также в областях, не представляющих особого интереса для расчетчика. Размеры соседних элементов вблизи концентратора напряжений не должны существенно различаться, так как это влияет на точность полученных результатов. Также на точность вычислений влияет форма конечных элементов. Следует избегать слишком вытянутых элементов; элементы с примерно одинаковыми размерами сторон дают меньшую ошибку.

Построенная конечно-элементная модель рамы контейнеровоза состоит из 38151 элементов и 38280 узлов. Преимущественно рама аппроксимирована четырехугольными элементами размером 4 мм. Количество вырожденных элементов (имеющих треугольную форму) составляет менее 5%. На рис.2 показаны фрагменты конечно-элементной модели передней и центральной части рамы.

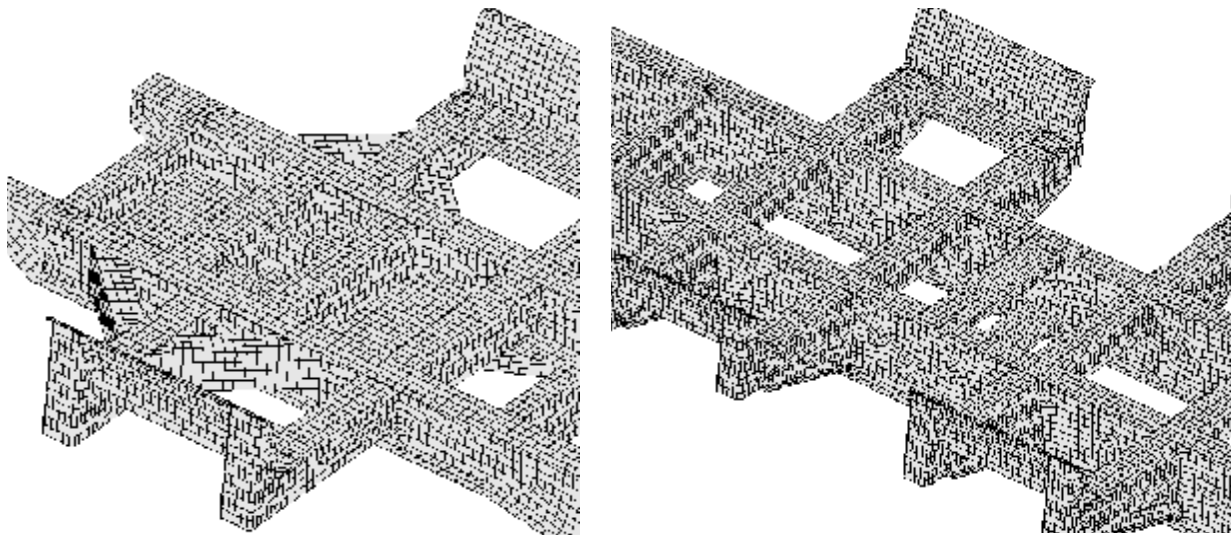


Рис.2. Фрагменты конечно-элементной модели рамы полуприцепа

При расчетах рам автомобилей основными расчетными случаями являются изгиб рамы в вертикальной плоскости и кручение рамы относительно продольной оси [2, 3]. В ряде случаев дополнительно могут рассматриваться изгиб рамы в горизонтальной плоскости, вызываемый действием инерционных нагрузок при повороте автомобиля, а также «параллелограммирование» рамы в горизонтальной плоскости [3]. Однако эти расчетные случаи не являются типичными.

В работе рассмотрен изгиб несущей системы в вертикальной плоскости под воздействием собственного веса и веса полезной загрузки

По условиям эксплуатации перевозимые контейнеры располагаются так, что вся полезная нагрузка, величиной 60000 кг, равномерно распределяется по поверхности верхних полок лонжеронов и небольших накладок, наваренных на поперечинах.

Для моделирования соединения полуприцепа с тягачем используется шарнирная опора с возможностями поворотов вокруг вертикальной и поперечной осей. Такая трактовка граничных условий наиболее точно соответствует реальным условиям опирания. В точках опоры осей полуприцепа используется шарнирно-подвижная опора, которая допускает смещение вдоль продольной оси и поворот вокруг поперечной.

В результате расчета можно получить целый комплекс параметров напряженно-деформированного состояния конструкции: напряжения и деформации в направлениях координатных осей, главные напряжения и соответствующие деформации, эквивалентные напряжения по гипотезе Губера-Мизеса, перемещения всех точек конструкции и целый ряд других величин.

Следуя общепринятой практике, анализ НДС рамы в работе выполняется по величинам эквивалентных напряжений и общим деформаций. Эпюра эквивалентных напряжений представлена на рис.3.

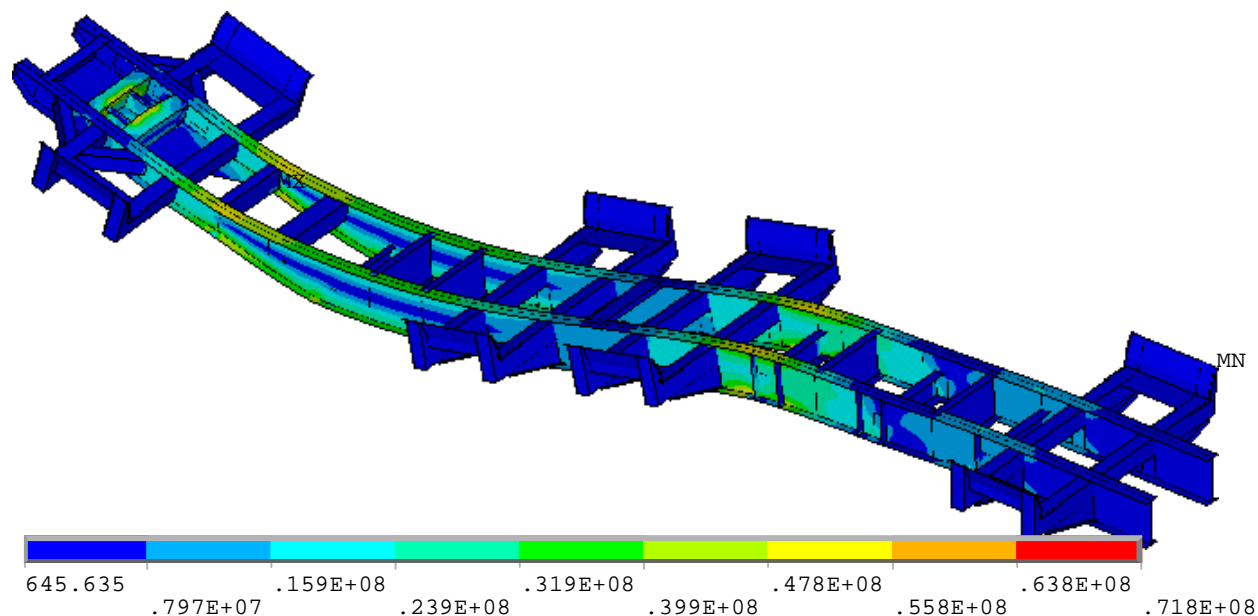


Рис.3. Эквивалентные напряжения при изгибе в вертикальной плоскости

При таком варианте нагружения максимальными напряжения будут в нижней полке лонжерона передней части рамы и равны 72 МПа (рис.4,а). В месте опирания рамы на ось напряжения составили 61 МПа (рис.4,б)

Таблица 1

Полученные максимальные значения напряжений в основных несущих элементах конструкции

		Напряжения, МПа
Лонжерон	Верхняя полка	53
	Нижняя полка	72
	Стенка	60
Основные поперечины		18
Опорная пластина		69

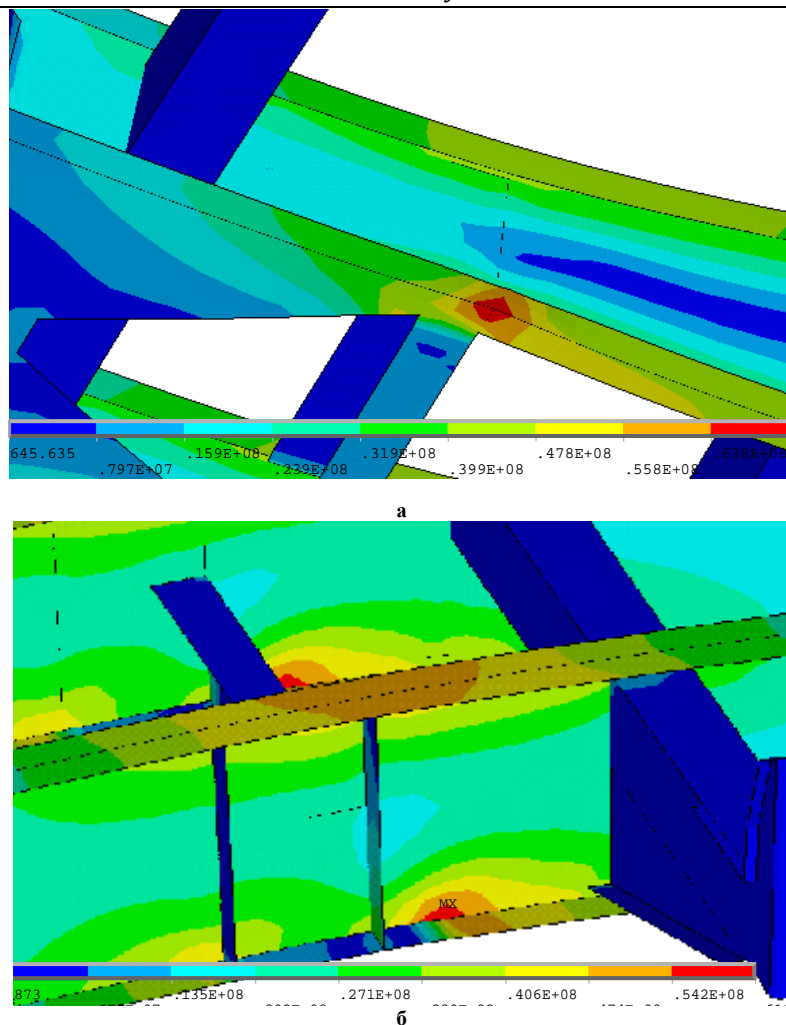


Рис.4. Максимальные эквивалентные напряжения

Выводы

По результатам расчета напряженно-деформированного состояния установлено, что в элементах конструкции несущей системы существующего полуприцепа в наиболее нагруженных участках рамы наблюдается невысокий уровень напряжений. Это свидетельствует о неполном использовании материала и открывает возможность для выполнения оптимизационного расчета.

Литература

1. Гельфгат Д.Б. Рамы грузовых автомобилей / Д.Б. Гельфгат, В.А. Ошноков. – М. : Машгиз, 1959. – 184 с.
2. Козак, З.Н. К расчету автомобильных рам и тормозных барабанов / З.Н. Козак // Тр. МАДИ. – М., 1940. – Вып. 9. – С. 41–52.
3. Лазарева Д.В. Конечный-элементный анализ несущей рамы контейнеровоза / Д.В. Лазарева // Холодил. техніка і технологія. ОДАХ. – Одеса, 2007. – № 3(107). – С. 77–78.

Надійшла 22.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Параска Г.Б.

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗУСИЛЬ НА МЕХАНІЗМ ПАЗОВИХ ГОЛОК ОСНОВОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН

В статті розглянуто графоаналітичний метод визначення технологічних зусиль, які доводиться переборювати механізмам пазових голок основов'язальних машин. Метод доповнено фотометричним методом фіксації положення петлетвірних органів і ниток основи при різних положеннях головного валу та числовим моделюванням технологічних зусиль.

Ключові слова: петлетвірний орган, технологічне зусилля, фотометричний метод, процес петлетворення, графоаналітичний метод, основов'язальна машина.

The graphic-analytical method of determination of technological efforts which it will be to overcome the mechanisms of slot needles of warp knitting machines is considered in the article. A method is complemented the photometric method of fixing of position of formative loops organs and filaments of basis at different positions of main billow and numerical design of technological efforts.

Keywords: loop generator organ, technological effort, photometric method, process of formative loops, graphic-analytical method, warp knitting machine.

До основних питань проектування в'язального механізму основов'язальних машин відносяться[1]: визначення необхідних переміщень петлетвірних органів; розробка суміщених графіків та циклових діаграм; проектування шарнірно-важільних або зубчасто-важільних планетарних механізмів, визначення зусиль корисного опору, які доводиться переборювати механізмам; розрахунок конструктивних параметрів механізмів.

Зусилля корисного опору, які доводиться переборювати механізмам це в основному технологічні зусилля. Для механізм пазових голок основні технологічні зусилля формуються в процесі петлетворення при взаємодії пазових голок з нитками основи.

Аналіз процесу петлетворення [1, 2] показує, що в різні моменти петлетворення характер взаємодії петлетвірних органів з нитками основи змінюється, при цьому змінюються і технологічні навантаження на петлетвірні органи.

Для визначення величини технологічних навантажень, що виникають в процесі петлетворення, зокрема на пазові голки, використано графоаналітичний метод. Можливості використання експериментального методу обмежені значними технологічними складностями в частині фіксації датчиків на голках.

Для розробки розрахункових схем, попередньо були проведені експериментальні дослідження особливостей взаємодії пазових голок з нитками основи в різні періоди петлетворення з точною фіксацією кута повороту головного валу. В основу експериментальних досліджень було покладено фотометричний метод фіксації положення петлетвірних органів і ниток основи при різних положеннях головного валу, а саме через кожних 15° . Початок відліку повороту головного валу – крайнє нижнє положення пазових голок. Для визначення геометричних параметрів фіксація петлетвірних органів проводилась в метричній системі з використанням жорстко зафіксованих лінійок.

На рис.1 представлено зразки фотометричних рисунків в найбільш характерні періоди петлетворення, що відображають особливості взаємодії пазових голок з нитками основи.

З фотознімків видно, що активний контакт пазових голок з нитками основи починається з моменту попадання ниток основи під гачок пазової голки. Згідно роботам в області основ трикотажного виробництва [1, 3] та результатам експерименту нитки основи під гачок пазової голки попадають в процесі пресування, а для ОВМ «Кокетт-2» це відбувається при повороті головного валу на 300° (рис.1,г). При подальшому обертанні головного валу степінь контакту збільшується за рахунок зміни геометрії контакту. Все це веде до збільшення технологічного навантаження ниток основи на пазові голки, а максимальнє значення цього навантаження припадає на процес формування петлі і відтяжки, коли кут оберту головного валу досягає $330^{\circ} - 360^{\circ}$ (рис.1,д,ж,а). Далі технологічне навантаження зменшується, і при куті повороту головного валу 45° наближається до мінімального значення.

На основі конструктивних особливостей ОВМ «Кокетт-2» та експериментальних даних розроблено розрахункові схеми для визначення технологічних навантажень, що відображають основні характерні моменти взаємодії ниток основи з пазовими голками, а саме в моменти:

- початку контакту гачка пазових голок з нитками основи (кут повороту головного валу $g = 300^{\circ}$) – рис.2;
- при проходженні пазової голки половини відрізка глибини кулірування (кут повороту головного валу $g = 330^{\circ}$) рис.3;

- в крайньому нижньому положенні пазової голки (кут повороту головного валу $g = 360^{\circ}$)

рис.4.



Рис.1. Процес петлетворення на ОВМ «Кокетт-2» в моменти: а) відтяжки – кут повороту головного валу $a = 0^{\circ}$; б) прокладування - $a = 165^{\circ}$; в) винесення - $a = 255^{\circ}$; г) пресування - $a = 300^{\circ}$; д) кулірування - $a = 330^{\circ}$; ж) формування $a = 345^{\circ}$

Вибір трьох характерних положень дозволить методом апроксимування побудувати функцію залежності технологічного навантаження ниток основи на пазові голки в процесі петлетворення.

При розрахунку технологічних навантажень ниток основи на пазові голки прийнято наступні припущення:

- зважаючи на циклічність переміщення ниток основи по поверхні гачка пазової голки, натяг ниток справа і зліва від гачка однаковий;

- маса ниток основи в системі заправки не впливають на їх натяг;
- нитка розміщується по найкоротшій віддалі між характерними точками петле твірних органів;
- схема кулірування нитки основи при зсуві гребінки вушкових голок проходить по 10-му варіанту [4].

На рис 2 представлено розрахункову схему взаємодії нитки основи з петлетвірними органами в момент контакту гачка пазової голки з ниткою основи.

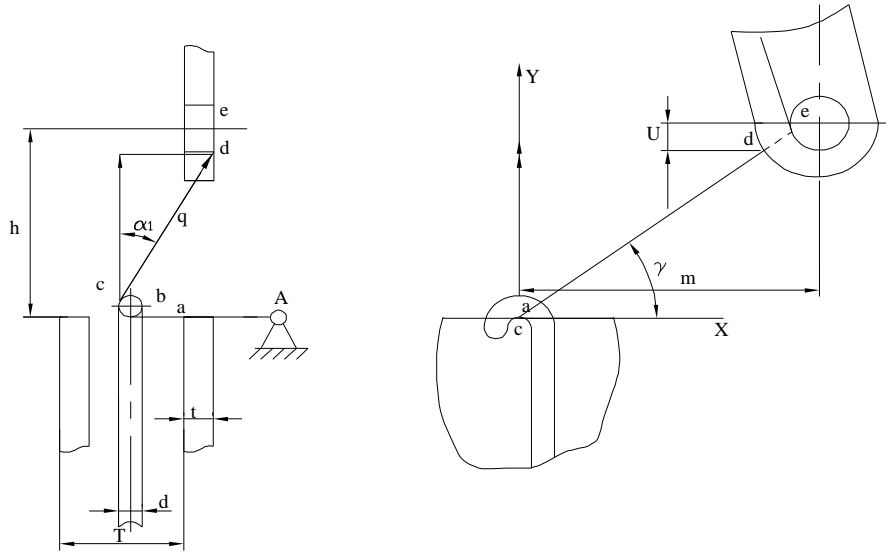


Рис.2. Розрахункова схема взаємодії нитки основи з петлетвірними органами в момент контакту гачка пазової голки з ниткою основи

Сумарна сила, що діє на пазові голки зі сторони натягу ниток основи формується їх дотичними складовими зі сторони вушковин $q_{1B(I)}$ і зі сторони платин $q_{1П(I)}$:

$$P_I = q_{1B(I)} + q_{1П(I)}. \quad (1)$$

Натяг ниток основи зі сторони вушковин:

$$q_{1B(I)}^I = q_I \times \sin g_I \times \cos a_{1(I)}, \quad (2)$$

де $g_I = \arctg \frac{h-d}{m-r_2}$; $a_{1(I)} = \arctg \frac{T+t+d}{2h-d}$.

Натяг ниток основи зі сторони платин в першій позиції дорівнює нулю.

На рис 3 представлено розрахункову схему взаємодії нитки основи з петлетвірними органами в момент проходження пазовою голкою половини глибини кулірування

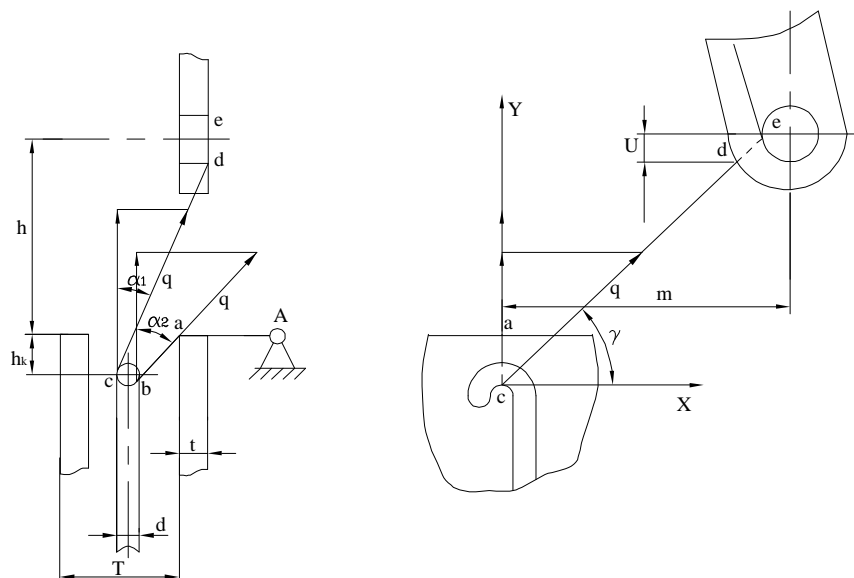


Рис.3. Розрахункова схема взаємодії нитки основи з петлетвірними органами в момент проходження пазовою голкою половини глибини кулірування

Сумарна сила, що діє на пазові голки зі сторони натягу ниток основи формується їх дотичними складовими зі сторони вушківин $q_{1B(II)}$ і зі сторони платин $q_{1П(II)}$:

$$P_{II} = q_{1B(II)} + q_{1П(II)}, \quad (3)$$

Натяг ниток основи зі сторони вушківин:

$$q_{1B}^{II} = q^{II} \times \sin g_{II} \times \cos a_1^{II}, \quad (4)$$

де $g_{II} = \arctg \frac{h + \frac{h_k}{2}}{m - r_2}$; $a_{1(II)} = \arctg \frac{T + t + d}{2h + h_k}$.

Натяг ниток основи зі сторони платин:

$$q_{1П(II)} = q \times \cos a_{2(II)}, \quad (5)$$

де $a_{2(II)} = \arctg \frac{T - t - d}{h_k}$.

На рис. 4 представлено розрахункову схему взаємодії нитки основи з петлетвірними органами в крайньому нижньому положенні пазової голки

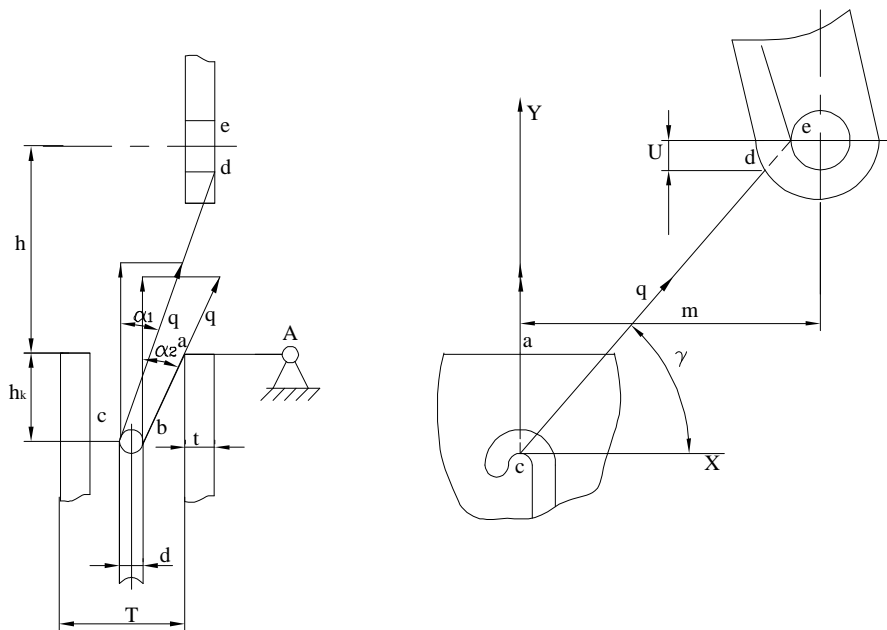


Рис.4. Розрахункова схема взаємодії нитки основи з петлетвірними органами в крайньому нижньому положенні пазової голки

Сумарна сила, що діє на пазові голки зі сторони натягу ниток основи формується їх дотичними складовими зі сторони вушківин $q_{1B(III)}$ і зі сторони платин $q_{1П(III)}$:

$$P_{III} = q_{1B(III)} + q_{1П(III)}, \quad (6)$$

Натяг ниток основи зі сторони вушківин:

$$q_{1B(III)} = q_{III} \times \sin g_{III} \times \cos a_1^{III}, \quad (7)$$

де $g_{III} = \arctg \frac{h + h_k}{m - r_2}$; $a_1^{III} = \arctg \frac{T + t + d}{2(h + h_k)}$.

Натяг ниток основи зі сторони платин

$$q_{1П(III)} = q \times \cos a_{2(III)}, \quad (8)$$

де $a_{2(III)} = \arctg \frac{T - t - d}{2h_k}$.

Аналіз отриманих рівнянь показує можливість отримання узагальненої математичної моделі для визначення сумарної сили, що діє на пазові голки зі сторони натягу ниток основи з моменту контакту гачка пазової голки з ниткою основи і до моменту опускання пазової голки в крайнє нижнє положення.

Сумарна сила, що діє на пазові голки зі сторони натягу ниток основи формується їх дотичними складовими зі сторони вушківин $q_{1B(n)}$ і зі сторони платин $q_{1П(n)}$:

$$p^n = q_{IB}^n + q_{II}^n, \quad (9)$$

Натяг ниток основи зі сторони вушкови́н:

$$q_{IB(n)} = q_n \times \sin g_n \times \cos a_{1(n)}, \quad (10)$$

де $g_n = \arctg \frac{h + bh_k}{m - r_2}, \quad (b = -\frac{d}{2h} \div 1); \quad a_{1(n)} = \arctg \frac{T + t + d}{2(h + bh_k)}, \quad (b = -\frac{d}{2h} \div 1).$

Натяг ниток основи зі сторони платин:

$$q_{II(n)} = q \times \cos a_{2(n)}, \quad (11)$$

де $a_2^n = \arctg \frac{T - t - d}{2bh_k}, \quad (b = -\frac{d}{2h} \div 1).$

Рівняння справедливі в діапазоні зміни коефіцієнта b від $-\frac{d}{2h}$ (момент контакту гачка пазової голки з ниткою основи) до -1 (момент опускання пазової голки в крайнє нижнє положення).

Аналіз осцилограм натягу ниток основи, представлених в ряді досліджень показав, що всередині циклу значення натягу змінюється, при цьому в момент формування петель це значення максимальне. На рис.5 представлена осцилограма натягу ниток верхньої основи характерна для ОВМ «Кокетт-2». Саме її використано для отримання значень натягу ниток основи при розрахунку сумарної сили, що діє на пазові голки зі сторони натягу ниток основи.

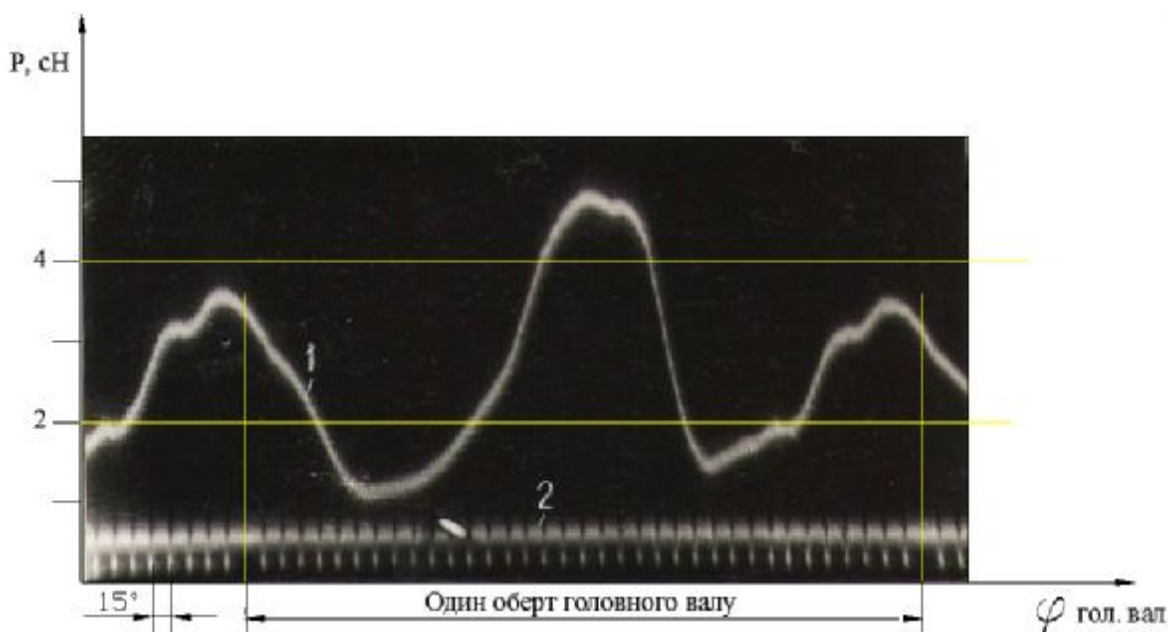


Рис. 5. Осцилограма натягу ниток верхньої основи характерна для ОВМ «Кокетт-2»

Вихідні дані характерні для ОВМ «Кокетт-2»: $r_2 = 0,75$ мм; $T = 0,908$ мм; $t = 0,18$ мм; $d = 0,5$ мм; $h = 7,0$ мм; $h_k = 1,8$ мм; $m = 9,0$ мм; $q_I = 2$ сН; $q_{II} = 2,5$ сН; $q_{III} = 3,4$ сН.

В процесі обчислень встановлено, що:

- на початку контакту гачка пазових голок з нитками основи (кут повороту головного валу $g = 300^\circ$) сумарна сила, що діє на пазову голку зі сторони натягу ниток основи дорівнює 1,25 сН;
- при проходженні пазової голки половини відрізка глибини кулірування (кут повороту головного валу $g = 330^\circ$) сумарна сила, що діє на пазову голку зі сторони натягу ниток основи дорівнює 4,21 сН;
- в крайньому нижньому положенні пазової голки (кут повороту головного валу $g = 360^\circ$) сумарна сила, що діє на пазову голку зі сторони натягу ниток основи дорівнює 5,85 сН.

На основі отриманих даних побудовано графічні залежності сумарної сили, що діє на пазову голку зі сторони натягу ниток основи від кута повороту головного валу (рис.6).

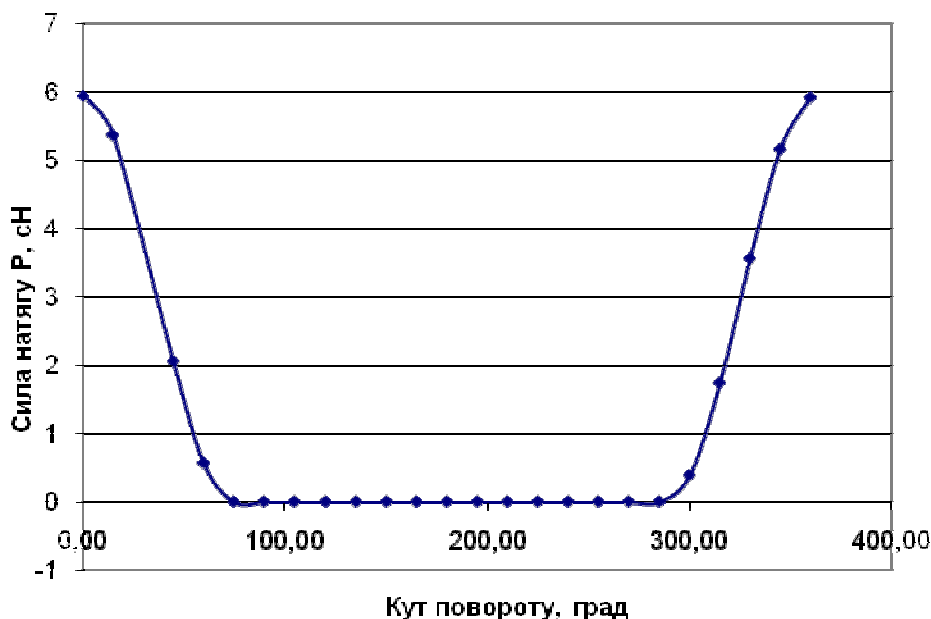


Рис. 6. Значення сили, що діє на пазові голки і сформованої натягом ниток основи

Отриману графічну залежність можна представити в виді математичної залежності сили, що діє на пазові голки і сформованої натягом ниток основи від кута повороту головного валу основов'язальної машини:

$$\begin{cases} \text{при } 0 < j \leq 75^{\circ} & y = 2,95(\cos(\frac{P}{75} \cdot j) + 1); \\ \text{при } 75^{\circ} < j \leq 285^{\circ} & y = 0; \\ \text{при } 285^{\circ} < j \leq 360^{\circ} & y = 2,95(\cos(\frac{P}{75} \cdot j + \frac{P}{180} \cdot 210) + 1). \end{cases} \quad (12)$$

Висновок. Отримані залежності сили, що діє на пазові голки і сформованої натягом ниток основи від кута оберту головного валу є вихідними даними для проведення досліджень механізму пазових голок з застосуванням сучасних комп'ютерних програм, зокрема CosmosMotion.

Література

1. Мойсеєнко Ф.А. Проективання в'язальних машин: підручник для вузів.- Х.:основа, 1994.- 336 с.
2. Кузнецов Б.А. расчет и проектирование петлеобразующей системы основов'язальных машин.- М.: Легпромбытиздат, 1989.- 152 с.
3. КаценеленбогенА.М., Верховинина Л.Д. Устройство, работа и обслуживание основовязальных машин.- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.- 304 с.
4. Параска Г.Б. Исследования влияния направления сдвига ушковых игл на функцию потребления нитей основовязальной машины / Г.Б.Параска , О.М. Хомяк // Изв. вузов. Технология легкой промышленности.- 1986.- №1.- С.101-106.

Надійшла 12.1.2013 р.
Статтю представляє: д.т.н. Параска Г.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ НИТИ ПО НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МАЛОЙ КРИВИЗНЫ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ ТРЕНИЯ

Получены теоретические зависимости, что позволяют получить уравнение для определения натяжения и формы оси нити в зоне формирования ткани и трикотажа для уменьшения процента обрывов нитей и улучшения качества готовой продукции.

Ключевые слова: нить, натяжение, анизотропия.

Received theoretical dependence that can get the equation for determining the tension axis and form threads in the formation zone fabrics and knitwear to reduce the percentage of thread breakages and improve product quality.

Keywords: yarn tension anisotropy.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями: на основе численного интегрирования системы дифференциальных уравнений и аппроксимации полученных данных получить выражения для определения формы оси и натяжения нити при поперечном скольжении по цилиндрической направляющей малой кривизны с учетом анизотропии трения.

Анализ последних исследований

В работах [1, 2] приводятся теоретические и экспериментальные исследования по изучению продольного скольжения нитей по направляющим большой и малой кривизны. Данные результаты не позволяют получить уравнения для определения натяжения и формы оси нити в зоне формирования ткани и трикотажа, а это, в свою очередь, не позволяет уменьшить процент обрывов нитей и улучшить качество готовой продукции [2].

Нерешенные ранее частей общей проблемы

Проведенные ранее исследования не позволяют определять форму и натяжение нитей при их поперечном скольжении по направляющим большой и малой кривизны с учетом анизотропии трения.

Цель данного исследования

Заключается в получении системы дифференциальных уравнений, интегрирование которой позволит получить выражения для определения формы оси и натяжения нити при поперечном скольжении по направляющей цилиндрической формы малой кривизны с учетом анизотропии трения.

Результаты и их обсуждение

Данный вид взаимодействия нити с направляющей поверхностью встречается во многих технологических процессах текстильной и трикотажной промышленности. Здесь подразумевается, что радиус кривизны направляющей поверхности значительно превышает значение расчетного радиуса поперечного сечения нити.

В качестве допущения будем считать, что направляющая поверхность представляет собой цилиндрическую поверхность. Также будем считать, что силами тяжести элемента нити можно пренебречь (натяжение нити, силы трения превышают силу тяжести элемента нити на один-два порядка). На рис. 1 представлена расчетная схема.

Цель данного исследования – определить натяжение и форму оси нити как функций дуговой координаты s . Выделяем на участке нити AB бесконечно малый элемент ds с точкой M в центре его тяжести.

При поперечном скольжении по цилиндрической поверхности на него будет действовать полная реакция, отнесенная к единице длины (в дальнейшем для простоты просто сила или реакция) Rds , которая раскладывается на две составляющие: нормальную реакцию поверхности Nds и силу трения Fds . Здесь необходимо отметить, что вектор силы

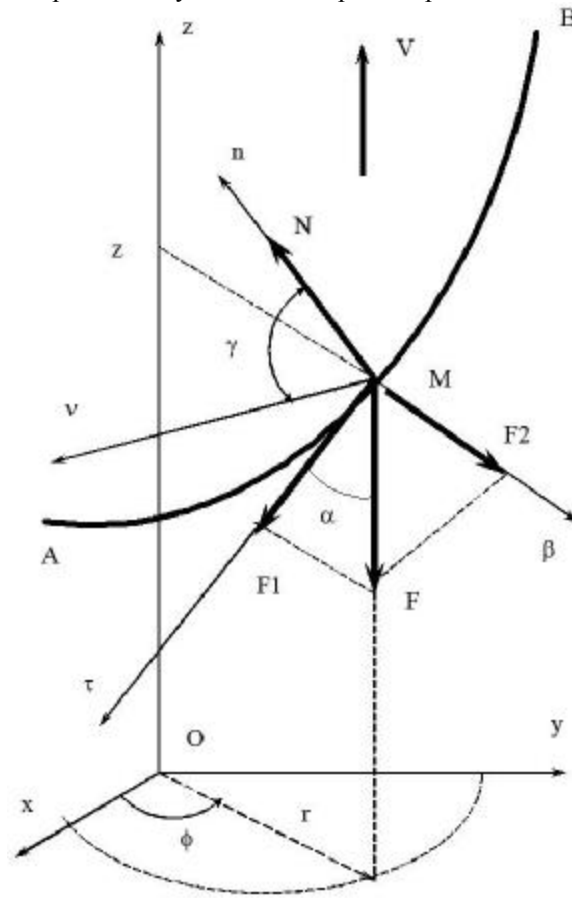


Рис. 1. Расчетная схема

трения всегда будет направлен противоположно вектору скорости.

Сила трения и единичный орт касательной \mathbf{t} располагаются в соприкасающейся плоскости. Натуральный трехгранник располагается таким образом, чтобы и единичный орт бинормали также располагался в соприкасающейся плоскости. Угол между нормалью натурального трехгранника и нормалью n к поверхности в точке M (угол геодезического отклонения) обозначим g .

Наиболее удобной системой координат, в данном случае, будет цилиндрическая координатная система. В качестве координат используются r , j , z . Сила трения, расположенная в соприкасающейся плоскости, определяется из следующей системы уравнений

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2, \quad F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}, \quad (1)$$

где $F_1 = k_1 N$ – проекция силы трения F на касательную ось натурального трехгранника;

$F_2 = k_2 N$ – проекция силы трения F на бинормальную ось натурального трехгранника;

k_1, k_2 – коэффициенты трения нити в продольном и поперечном направлении, которые и характеризуют анизотропию фрикционных свойств.

Тогда величину силы трения, с учетом (1), можно определить по следующей формуле

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

Основная система дифференциальных уравнений в цилиндрических координатах, описывающая поперечное скольжение нити по направляющей с учетом анизотропии фрикционных свойств, будет иметь вид

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds} \left(P \frac{dr}{ds} \right) - Pr \left(\frac{dj}{ds} \right)^2 + N &= 0, \\ \frac{d}{ds} \left(Pr \frac{dj}{ds} \right) &= 0, \\ \frac{d}{ds} \left(P \frac{dz}{ds} \right) - \sqrt{k_1^2 + k_2^2} N &= 0, \\ \left(\frac{dr}{ds} \right)^2 + r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2 + \left(\frac{dz}{ds} \right)^2 &= 1, \end{aligned} \quad (3)$$

где s – дуговая координата, м;

P – натяжение нити, Н;

r – радиус поперечного сечения направляющей поверхности, м;

j – цилиндрическая координата, которая определяет угол поворота радиуса r по отношению к положительному направлению оси x (рис. 1), рад;

N – нормальная реакция поверхности, Н;

z – цилиндрическая координата, ось которой параллельна вектору скорости, м.

Учитывая, что в качестве направляющей поверхности был выбран цилиндр ($r = const$), система дифференциальных уравнений (3) примет вид

$$\begin{aligned} -Pr \left(\frac{dj}{ds} \right)^2 + N &= 0, \\ \frac{d}{ds} \left(Pr \frac{dj}{ds} \right) &= 0, \\ \frac{d}{ds} \left(P \frac{dz}{ds} \right) - \sqrt{k_1^2 + k_2^2} N &= 0, \\ r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2 + \left(\frac{dz}{ds} \right)^2 &= 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Из второго уравнения системы (4) получим

$$P \frac{dj}{ds} = C_1 = const. \quad (5)$$

Из уравнения (5) определим значение производной

$$\frac{dj}{ds} = \frac{C_1}{P}. \quad (6)$$

Из первого уравнения системы (4) определяем значение нормальной реакции

$$N = Pr \left(\frac{dj}{ds} \right)^2. \quad (7)$$

Подставляем выражение (7) в третье дифференциальное уравнение системы (4)

$$\frac{d}{ds} \left(P \frac{dz}{ds} \right) - \sqrt{k_1^2 + k_2^2} Pr \left(\frac{dj}{ds} \right)^2 = 0, \quad (8)$$

Преобразуем уравнение (8) к виду

$$\frac{dP}{ds} \frac{dz}{ds} + P \frac{d^2z}{ds^2} - \sqrt{k_1^2 + k_2^2} Pr \left(\frac{dj}{ds} \right)^2 = 0. \quad (9)$$

Из четвертого дифференциального уравнения системы (4) определим

$$\left(\frac{dz}{ds} \right)^2 = 1 - r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2. \quad (10)$$

Из выражения (10) определяем значение первой производной цилиндрической координаты z по дуговой координате

$$\frac{dz}{ds} = \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2}. \quad (11)$$

Продифференцируем уравнение (11) по дуговой координате s и определим значение второй производной

$$\frac{d}{ds} \left(\frac{dz}{ds} \right) = \frac{d^2z}{ds^2} = - \frac{r^2 \left(\frac{d^2j}{ds^2} \frac{dj}{ds} \right)}{\sqrt{1 - r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2}}. \quad (12)$$

Для определения значения второй производной цилиндрической координаты j по дуговой координате s продифференцируем выражение (6), получим

$$\frac{d^2j}{ds^2} = - \frac{C_1 \frac{dP}{ds}}{P^2}. \quad (13)$$

Подставляем выражение (13) в дифференциальное уравнение (12), получим

$$\frac{d^2z}{ds^2} = - \frac{r^2 \left(- \frac{C_1 \frac{dP}{ds} \frac{dj}{ds}}{P^2} \right)}{\sqrt{1 - r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2}}. \quad (14)$$

В окончательном виде будем иметь

$$\frac{d^2z}{ds^2} = \frac{r^2 C_1^2}{P^3 \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2}} \frac{dP}{ds}. \quad (15)$$

Подставляем выражение (15) в дифференциальное уравнение (9) и с учетом (11) получим

$$\frac{dP}{ds} \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2} + \frac{r^2 C_1^2}{P^2 \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{dj}{ds} \right)^2}} \frac{dP}{ds} - \sqrt{k_1^2 + k_2^2} Pr \left(\frac{dj}{ds} \right)^2 = 0. \quad (16)$$

Преобразуем дифференциальное уравнение (16) и окончательно получим

$$\frac{dP}{ds} = \frac{\sqrt{k_1^2 + k_2^2} C_1^2 r P \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{C_1}{P} \right)^2}}{\{ P^2 [1 - r^2 \left(\frac{C_1}{P} \right)^2] + r^2 C_1^2 \}}. \quad (17)$$

Полученное дифференциальное уравнение первого порядка позволяет получить зависимость натяжения нити от дуговой координаты с учетом анизотропии трения при поперечном скольжении. Его затруднительно проинтегрировать. Поэтому для его решения будем использовать численные методы, в частности метод Рунге-Кутты-Мерсона. Программа для реализации этого метода приведена в приложении.

Численно решая дифференциальное уравнение (17) получим массив данных, который позволяет

определять значение натяжения нити в зависимости от дуговой координаты.

Вполне очевидно, что для удобства пользования полученными данными их необходимо представить в виде некоторой функции. Для этого в работе была осуществлена аппроксимация данных с использованием специального программного обеспечения, описание которого приведено в третьем разделе. Аппроксимация осуществлялась с использованием степенного полинома. Данная программа позволяет осуществлять аппроксимацию или с заданной точностью (степень полинома определяется автоматически) или пользователь сам задает степень полинома.

В результате получим некоторую новую функцию

$$P = V(s) = a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n, \quad (18)$$

где $a_0, a_1, a_2 \dots a_n$ – коэффициенты степенного полинома.

Перейдем к определению зависимостей $j(s)$ и $z(s)$

$$\frac{dz}{ds} = \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{C_1}{P} \right)^2}.$$

Подставляем в последнее выражение (18)

$$\frac{dz}{ds} = \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{C_1}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n} \right)^2}. \quad (19)$$

Зависимость цилиндрической координаты j от дуговой координаты s определим из выражения

$$\frac{dj}{ds} = \frac{C_1}{P} = \frac{C_1}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n}. \quad (20)$$

Системы трех дифференциальных уравнений первого порядка

$$\frac{dP}{ds} = \frac{\sqrt{k_1^2 + k_2^2} C_1^2 r P \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{C_1}{P} \right)^2}}{\{ P^2 [1 - r^2 \left(\frac{C_1}{P} \right)^2] + r^2 C_1^2 \}},$$

$$\frac{dz}{ds} = \sqrt{1 - r^2 \left(\frac{C_1}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n} \right)^2},$$

$$\frac{dj}{ds} = \frac{C_1}{P} = \frac{C_1}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n},$$

позволяет получить зависимости натяжения и формы оси нити при поперечном скольжении по направляющей малой кривизны с учетом анизотропии трения.

Выводы

Таким образом, численное интегрирование системы трех дифференциальных уравнений первого порядка позволяет получить зависимости натяжения и формы оси нити при поперечном скольжении по направляющей малой кривизны с учетом анизотропии трения. Полученная теоретическая зависимость позволит уменьшить процент обрывов нитей, улучшить качество готовой продукции.

В дальнейшем планируется проведение исследований по определению формы оси и натяжения для различных видов сырья и структуры нитей (комплексные нити, мононити и пряжа).

Литература

1. Щербань В.Ю. Механика нити / Щербань В.Ю., Хомяк О.Н., Щербань Ю.Ю. – К. : КНУТД, 2002. – 196 с.
2. Программные и математические компоненты проектирующих подсистем технологических процессов, оборудования, свойств материалов легкой и текстильной промышленности / [Щербань В.Ю., Слизков А.Н., Озадовский А.Б., Щербань Ю.Ю.]. – К. : Конус-Ю, 2009. – 327 с.

Надійшла 23.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Здоренко В.Г.

ПРОБЛЕМА МІЦНОСТІ КОМПАУНДОВАНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Проведено огляд існуючого стану проблеми міцності компаундованих електронних елементів в екстремальних умовах експлуатації. Проаналізовано фізико-механічні характеристики структурно складних полімерних матеріалів, які застосовуються в радіоелектроніці. Враховуючи великий розкид значень фізико-механічних параметрів полімерних матеріалів від наявних у них домішок, режимів затвердіння, впливу фізичної і механічної дії герметизованих електронних елементів, показана недостатня обґрунтованість наявних на сьогодні методів для визначення фізико-механічних властивостей герметизуючих матеріалів. Описана складність врахування усіх необхідних параметрів матеріалів, що використовуються, та недостатня вивченість полімерів, для проведення над ними розрахунків на працездатність в екстремальних умовах. Також проведено огляд існуючих експериментальних методів вимірювання напружень та методів розрахунку напружено-деформованого стану спряженої системи "герметизована конструкція – герметизуючий матеріал". Показано необхідність розробки математичної моделі для визначення напружень в спряженій системі "герметизована конструкція – герметизуючий матеріал" з урахуванням напружень від нерівномірності температурного розподілу. Вказано на необхідність проведення експериментальних досліджень натурних об'єктів для отримання реальних коефіцієнтів запасу міцності конструкцій виробів електронної техніки, через можливість суттєвих змін фізико-механічних властивостей полімеру, що можуть бути спричинені дією факторів зовнішнього середовища під час експлуатації. Стосовно специфіки виробів електронної техніки, розглянуті переваги і недоліки можливих методів експериментальних досліджень напружень та деформацій і виділено найперспективніший.

Ключові слова: герметизація, електронний елемент, виріб електронної техніки, міцність, полімери, фізико-механічні характеристики, тензометрія, тензометри, компаунд, кераміка, напруження, залишкове напруження, деформації, термоудар, напружено-деформований стан, герметизована конструкція.

This paper represents the current problem of the strength of electronic components sealed in a compound in extreme operating conditions. Physical-mechanical properties of structurally complex polymeric materials, which are used in radio electronics, were analyzed. Current available methods to determine the physical and mechanical properties of sealing materials, which are described as inconsistent in regards to the large variation in the physical and mechanical parameters of polymeric materials, were shown. Such inconsistencies depend on existing impurity, solidification conditions, and physical and mechanical influences on sealed electronic components. The article describes the complexity of taking into account all necessary parameters and the lack of knowledge of polymers in order to calculate the operability in extreme conditions. Also, existing experimental methods of measuring strain and methods of calculating deflection modes for the conjugated system, the sealed construction - sealing material, were reviewed. The necessity for developing a mathematical model which considers uneven temperature distribution in order to calculate stress in the conjugated system, the sealed construction - sealing material, was shown. The necessity of experimentally researching physical prototypes in order to determine real safety factors in the designs of electronic equipment were emphasized. This is because of the possibility of significant changes in physical and mechanical properties of the polymer, which may be influenced by environmental factors during operation. With regard to the specifics of electronic equipment, the advantages and disadvantages of the possible methods of experimental studies of stress and strain were considered, and were singled out the most perspective one.

Keywords: sealing, electronic element, electronic product, strength, polymeric compounds, physical-mechanical properties, tensometry, tensometers, compound, ceramic, stress, residual stress, deformations, thermal impact, deflected mode, sealed construction.

Огляд існуючого стану проблеми

Конструкція будь-якого радіоелектронного виробу являє собою поєднання певної кількості вузлів і деталей, виготовлених з того чи іншого матеріалу, більша частина яких – неметалеві матеріали, що мають полімерну будову. Це пластичні маси, шаруваті пластики, кремнійорганічні полімери, компаунди, лаки, клеї, кераміка, силікатні скла, слюда та ін.

Номенклатура полімерних матеріалів настільки велика, а інформація про них настільки складна, що правильний вибір матеріалу для конкретних виробів електронної техніки (ВЕТ) представляє чималі труднощі. На практиці нерідко виникає необхідність комплексного використання полімерних матеріалів у конструкціях ВЕТ, так як поряд з електричними функціями полімери виконують роль конструкційних матеріалів.

Історично склалося так, що широке застосування в електроніці полімерних матеріалів відбулося в самий початковий період мініатюризації, коли виробы, які піддаються герметизації, мали ще значні розміри і володіли достатніми коефіцієнтами запасу міцності. У цей період характеристики полімерних матеріалів були слабо вивчені і основні роботи були присвячені вдосконаленню технології виробництва полімерів та технології герметизації ВЕТ. У міру мініатюризації ВЕТ з'явилася проблема міцності герметика і елементів, що герметизуються, а тому в літературі стали з'являтися рекомендації з оцінки взаємодії елементів і конструкцій з герметизуючими матеріалами.

Розвиток техніки висував перед інженерами все нові завдання, обумовлені ускладненням умов роботи ВЕТ. Це викликало появу робіт, в яких розглядалися розрахунки та методики випробувань апаратури при механічних і кліматичних впливах.

Слід зауважити, що в початковий період мікромініатюризації в радіоелектроніці застосування методів і засобів вимірювання деформацій і напружень, використовуваних в загальному машинобудуванні, було просто неможливо. Але на сьогодні прогрес техніки для вимірювання неелектричних величин електричними методами відкриває можливість для застосування деяких методів в електроніці.

Аналіз фізико-механічних характеристик полімерних матеріалів

Для працездатності герметизованих ВЕТ істотне значення має застосування полімерних герметизуючих матеріалів із заданими фізико-механічними властивостями. Тому певна кількість робіт присвячена вивченню фізико-механічних характеристик існуючих герметизуючих матеріалів, а також розробленню нових марок, поява яких викликана тією обставиною, що до теперішнього часу не існує герметизуючих матеріалів, характеристики яких повністю задовольняли б вимогам працездатності конструкцій ВЕТ.

Визначення цих характеристик здійснюється або експериментально шляхом випробувань дослідних зразків матеріалу, або теоретично шляхом розрахунків із залученням тих чи інших спрощених моделей, що описують процеси в полімерних матеріалах.

Відомо, що фізико-механічні властивості герметиків, зокрема, внутрішні напруження в них, багато в чому залежать від режимів затвердіння. Конкретні рекомендації по вибору режимів затвердіння для різних рецептур герметизуючих матеріалів наводяться в літературі [9], але в цих роботах не враховується вплив заповнення об'єму елементами схеми.

Існують формули для розрахунку коефіцієнта лінійного теплового розширення (КЛТР) герметиків, виходячи з об'ємного вмісту компонентів [9]. Проте ці формули не враховують механічної взаємодії наповнювача, зв'язуючого матеріалу і ряду інших факторів. Відома також формула для розрахунку модуля пружності композицій, зміцнених частками, але вона враховує тільки об'ємний вміст компонентів.

Фізико-механічні характеристики багато в чому залежать від складу полімерного матеріалу. Зокрема, введення пластифікаторів викликає зниження температури склування і модуля пружності, що обумовлює необхідність більш поглибленого вивчення міцності конструкцій ВЕТ, герметизованих такими матеріалами, наприклад, вивчення виникнення і розподілу залишкових напружень в зв'язуючому матеріалі на основі епоксидних смол [3].

Як стверджується в деяких роботах, необхідно визначати ті фізико-механічні показники герметиків, які слугують для характеристики та порівняння матеріалів, забезпечення даними для розрахунку та визначення експлуатаційних характеристик, контролю якості продукції саме в процесі виробництва. Об'єктивна наукова оцінка методів випробувань приводить до висновку про неправильність довільного застосування методів випробувань. Швидке зростання промисловості полімерів неминуче ставить практику попереду теорії, а складність властивостей полімерів обумовлює недостатність наших знань про матеріали.

У ряді випадків фізико-механічні характеристики, що приводяться в різних роботах навіть одного і того ж автора, мають істотну відмінність. Незважаючи на це, особливо цінним тут є отримані експериментально залежності фізико-механічних характеристик деяких компаундів від температури, але, на жаль, відсутні дані по розкиду цих характеристик.

Справа ускладнюється ще й тим, що компаунди мають композитну природу. Крім неоднорідності власного складу, на значення їх характеристик істотно впливають різні включення чужорідних тіл, з якими компаунди взаємодіють в конструкціях радіоелектронних частин приладів (РЕЧП). При виготовленні елементів РЕЧП широко використовують різні сорти кераміки, яка так само, як і компаунд, відноситься до полімерів і має композитну будову. Фізико-механічні характеристики кераміки або мають істотні відмінності за різними джерелами, або великий діапазон розкиду, або взагалі не визначені. Наприклад, для оксидної кераміки TiO_2 модуль Юнга $E=70...10^5$ ГПа, границя міцності на розтяг $\sigma_b = 28...70$ МПа, границя міцності на стиск $\sigma_{bc} = 281...843$ МПа [14], границя міцності при згині $\sigma_z = 281...843$ МПа; для кераміки марки 22ХС модуль Юнга $E=280...320$ ГПа, КЛТР $\alpha = 5,5...6,5 \cdot 10^{-6}$ 1/град [15]; для кераміки марки ГМ $\alpha = 6,2...7,6 \cdot 10^{-6}$ 1/град, $\sigma_{II} = 250...340$ МПа [16], по іншим характеристикам відомостей немає; для кераміки марки Фостерит з механічних характеристик відомий тільки $\alpha = 9,4...10,3 \cdot 10^{-6}$ 1/град [17–19].

Механічні властивості керамічних матеріалів визначають за результатами спеціальних нестандартизованих випробувань на розтяг, згин або стиск. З цих випробувань найбільш достовірні випробування зразків керамічних матеріалів на розтяг. Однак зразки при цьому досить складні у виготовленні і вимагають застосування спеціальних затискачів у випробувальних машинах. Зразки виготовляють у вигляді двох сполучених усічених конусів. Затискачі випробувальної машини виконують роз'ємними. Щоб виключити поверхневе руйнування зразка при контакті із затискачами поверхню затискачів покривають еластичним матеріалом.

Для випробувань на розтяг застосовують також зразки у вигляді короткого порожнього циліндра, які навантажуються внутрішнім гідростатичним тиском Р. Максимальне напруження в зразку визначають за формулою Ляме [6]: $\sigma = P(D^2 + d^2)/(D^2 - d^2)$, де D, d – зовнішній та внутрішній діаметри зразка відповідно.

Провівши аналіз роботи [3], присвяченої визначенню фізико-механічних характеристик компаундів, і роботи [2], присвяченої визначенню характеристик кераміки, слід зазначити, що, будучи проведеними на лабораторних зразках або спрощених теоретичних моделях, вони носять більше якісний, ніж кількісний характер, що істотно обмежує сферу застосування для реальних конструкцій. Між тим, практичні умови роботи полімерних матеріалів в ВЕТ у всьому робочому діапазоні температур настільки складні, що їх

повний теоретичний облік поки не проведений. Тому для визначення фізико-механічних характеристик цих матеріалів необхідні випробування, які відтворюють умови максимально наближені до експлуатаційних, для яких і здійснюється розрахунок на міцність [2, 3].

Огляд методів розрахунку напружено-деформованого стану і оцінка міцності системи "герметизована конструкція – герметизуючий матеріал"

Механічні напруження в елементах герметизованих конструкцій можна умовно розділити на дві групи. До першої відносяться напруження, викликані механічними напруженнями в процесі виробництва і при експлуатації. Основною їх особливістю є те, що вони зникають після припинення дії зовнішнього механічного навантаження. До другої групи відносяться напруження, викликані дією температури на герметизовані конструкції в процесі виробництва, при кліматичних випробуваннях і експлуатації. Причинами напружень цього типу є відмінності в КЛТР матеріалів елементів, з яких складається герметизована конструкція. Такі напруження присутні у вигляді залишкових, якщо розглянуті елементи конструкції мають достатньо високу границю пружності [2].

Теоретичні методи розрахунку механічної міцності герметизованих ВЕТ розглядаються в роботах [5, 6]. Ці методи можуть привести до точних результатів тільки в тих випадках, коли математична модель досить добре відбиває реальну дійсність, а використовувані константи досить точні. Однак у цьому випадку розрахунок стає настільки складним, що практично, не може бути доведений до числового результату. Тому в ряді робіт наводяться наближені формули для розрахунку механічних напружень. Але ці формули або не враховують таких важливих характеристик, як модуль пружності і коефіцієнт Пуассона сполучених матеріалів і їх зміну від температури, або застосовні тільки при стаціонарних температурних режимах, або засновані на не зовсім коректних умовах спільності деформацій та ін.

Величини напружень, які виникають у герметиків і елементів ВЕТ, багато в чому залежать від значень фізико-механічних характеристик матеріалів, таких як КЛТР, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона.

У деяких роботах велика увага приділяється фізико-механічними процесам, що відбуваються в компаундах при полімеризації і механічних навантаженнях. Однак не розглядається взаємодія герметизованого матеріалу з герметизованими елементами.

Важливі теоретичні висновки та рекомендації наведені в роботі [8]. Тут вказано на залежність від форми і взаємного розташування деталей, різних видів деформацій і напружених станів, обґрунтована необхідність застосування демпферуючих матеріалів, наведені функціональні залежності основних параметрів полімерів від різних кліматичних факторів. Однак формули та рекомендації, наведені в цій роботі, також носять більше якісний і описовий характер.

У роботах [2, 7] розглядається розрахунок напружень, що виникають в осесиметричних корпусах типу Т0-5. Герметичність корпусу забезпечується силами зчеплення компаунда і контактним тиском в місці сполучення ковпачка з підкладкою. Розміри ковпачка такі, що його слід розраховувати за схемою тонкостінної оболонки.

Вельми цікава робота [1], в якій викладена методика оцінки внутрішніх напружень в полярних діелектриках, їх міцності і теплопровідності на працездатність герметизованих ВЕТ. Тут досліджено причини виникнення внутрішніх напружень в компаундах, показані можливості їх зниження і приведений інженерний розрахунок температурних напружень. В роботі розглянуті експериментальні методи вимірювання внутрішніх напружень і стійкості компаундів до термоударів. Внутрішні напруження та контактні тиски визначаються по осесиметричній циліндричній моделі (задача Ляме) без урахування осьових деформацій, що вказує на можливість подальшого уточнення досліджуваної моделі. У роботі також не враховується закон зміни температури по радіусу виробу.

В роботі [4] для розрахунку механічних напружень, що виникають на границі компаунд - об'єкт, який захищається, прийнята модель, що досить точно відтворює реальні умови, в яких знаходяться герметизовані вироби (монолітний блок). Модель являє собою два кільця - феритове та алюмінієве, зазор між якими заповнений полімерною матрицею. У розглянутій моделі враховані зусилля, викликані хімічною усадкою компаунда при полімеризації, розходженням температурних коефіцієнтів розширення кільця при зміні температури, магніострикційними змінами розмірів феритового кільця. В якості теоретичної основи для визначення зусиль, що виникають у розглянутій моделі, також використана задача Ляме про осесиметричну деформацію труби з вільними кінцями, що знаходиться під дією внутрішнього тиску P_a і зовнішнього P_e . Однак модель не враховує осьові деформації, реальний розкид фізико-механічних характеристик матеріалів, що з'єднуються, закон розподілу температури по радіусу виробу. Розрахункові формули дозволяють визначити тільки максимальні значення напружень.

Для оцінки напружень в склоспаях [2, 7], які широко використовуються для герметизації металоскляних корпусів, придатні розрахункові схеми багатопарових складових циліндрів, насаджених один на один з натягом. Розрахунки виконані при стаціонарній різниці температур, без урахування осьових напружень і перемішень і в припущенні, що радіальні напруження уздовж осі циліндра розподілені рівномірно.

Загальним недоліком перерахованих вище розрахункових моделей є зневага напруженнями від нерівномірностей температурного розподілу. Для їх розрахунку потрібен реальний закон розподілу температури в кожному конкретному випадку. В роботі [10] розглядаються напруження від нерівномірного

нагрівання (охолодження) тіла циліндричної форми. Однак розглядаються лише прямолінійний і логарифмічний закони зміни температури по радіусу виробу. При цих законах неможливо обчислити значення напружень в будь-який момент часу. Також при такому способі визначення напружень від нерівномірностей температурного розподілу не враховується ступінь заповнення елементами об'єму герметизованої конструкції та їх взаємодія.

Аналіз робіт показує необхідність розробки математичної моделі для визначення напружень в спряженій системі "герметизована конструкція – герметизуючий матеріал" з урахуванням напружень від нерівномірності температурного розподілу, для чого потрібно знати реальний закон зміни температур у всьому об'ємі герметизованої конструкції і в об'ємі окремого елемента, із використанням достовірних характеристик досліджуваних виробів.

Завершуючи аналіз існуючих методів оцінки міцності ВЕТ, слід відмітити, що відомі теорії міцності не завжди можуть об'єктивно оцінювати працездатність конструкції з тієї причини, що в залежності від напруженого стану багато матеріалів можуть змінювати свої властивості (наприклад, переходити з крихкого стану в пластичне і навпаки). Тому оцінка реальних коефіцієнтів запасу міцності досліджуваних конструкцій ВЕТ в даний час можлива тільки при експериментальному дослідженні натурних об'єктів з подальшою обробкою отриманих результатів методами математичної статистики.

Методи вимірювання деформацій і оцінка можливості їх застосування для дослідження міцності герметизованих ВЕТ

Методи вимірювання деформацій можна розділити на наступні групи: рентгенівські, поляризаційно-оптичні (методи фотопружності), муарових смуг, крихких покриттів, гальванічних покриттів і методи, засновані на перетворенні деформацій поверхні об'єкта дослідження за допомогою тензометрів і тензометричних перетворювачів.

Застосування рентгенівських променів для дослідження напруженого стану в металах і сплавах засноване на явищі дифракції рентгенівських променів при проходженні через кристалічну решітку досліджуваного матеріалу. Метод не можна використовувати для дослідження матеріалів з некристалічною структурою, для вимірювання пластичної складової деформації, а також для вимірювання одночасно в декількох точках. Зазначені вище недоліки методу і порівняно висока вартість обладнання обмежує його застосування при дослідженні міцності ВЕТ.

Метод крихких покриттів дозволяє визначити напруження тільки на зовнішніх поверхнях тіл. З приводу можливостей застосування цього методу в радіоелектроніці слід зауважити, що велика похибка вимірювань, а також той факт, що при висиханні покриття в досліджуваних деталях ВЕТ виникли б напруження, які могли б істотно змінити напружено-деформований стан мікроелектронних пристроїв і привести до відмов найбільш чутливих елементів, вкрай ускладнюють його застосування для дослідження мініатюрних ВЕТ.

Поляризаційно-оптичні методи (методи фотопружності) можна використовувати тільки для дослідження напруженого стану виробів електронної техніки на моделях, виготовлених з прозорого матеріалу. При об'ємних моделях значно ускладнюється техніка експерименту і не забезпечується необхідна точність визначення окремих компонентів напружень, до того ж, метод поки недостатньо розроблений для дослідження пружно-пластичних деформацій.

При використанні методу муарових смуг слід мати на увазі порівняно складну обробку результатів експерименту і неможливість визначити напружено-деформований стан внутрішніх деталей об'єкта, наприклад, елементів герметизованих ВЕТ.

Метод гальванічних покриттів може використовуватися тільки для дослідження статичних і динамічних навантажень в металевих матеріалах, що суттєво обмежує область його застосування.

Механічні і оптичні тензометри при дослідженні ВЕТ можуть застосовуватися тільки в лабораторних умовах при калібруванні інших видів тензометрів, точному вимірюванні деформацій великих деталей і визначенні механічних характеристик матеріалів, застосовуваних у ВЕТ.

Пневматичні тензометри застосовують тільки в лабораторних умовах при дослідженні на моделях. Вони вимагають ретельної фільтрації повітря від пилу і вологи та відсутності зовнішніх повітряних потоків, але мають високий коефіцієнт перетворення (близько 200000 при порозі реагування близько 0,1 е.о.д.).

Акустичні прилади [20] мають значну довжину бази. Датчик займає велику поверхню на об'єкті дослідження, що обмежує його застосування в мікроелектроніці.

Електричні тензометри [20] за принципом дії поділяються на тензометри опору (тензорезистори), індуктивні, ємнісні, п'єзоелектричні та індукційні.

Індуктивні тензометри в даний час мають базу до 0,5 мм, але їх габаритні розміри і вага ще досить великі, щоб їх можна було використовувати при дослідженні міцності мініатюрних ВЕТ.

Індукційні і п'єзоелектричні тензометри використовуються тільки для вимірювання динамічних деформацій.

Ємнісні тензометри можуть використовуватися в електроніці в основному в якості безконтактних чутливих елементів перетворювачів механічних величин (тиску, крутних моментів, вібрацій, точного вимірювання лінійних розмірів). В даний час їх застосування для вимірювання статичних деформацій обмежена, оскільки зміна ємності багато в чому залежить від діелектричної проникності повітряного зазору. Зміна його вологості і чистоти вносить значні похибки в вимірювання.

Електролітичні тензометри [21] через значні габарити і недостатню стабільність характеристик не можуть використовуватися в електронній техніці.

Механотронні прилади в основному застосовуються в якості чутливого елемента перетворювачів механічних величин при визначенні фізико-механічних характеристик матеріалів.

Тензорезистори [11] одержали широке поширення в техніці вимірювання деформацій завдяки можливості вимірювання деформацій при різних розмірах бази, починаючи з десятих часток міліметра, дистанційним вимірюванням на великому числі точок в широкому діапазоні частот і температур. Вони можуть бути придатні для оцінки напружень і деформацій ВЕТ, однак специфіка роботи ВЕТ і вживаних в них матеріалів [12] унеможливило пряме перенесення електротензометрії із загального і спеціального машинобудування в радіотехніку.

Кожен з описаних методів має певні переваги і недоліки та може бути найкращим в конкретних умовах. При відповідному доопрацюванні, стосовно специфіки виробів електронної техніки, широке застосування для дослідження напружень та деформацій у ВЕТ [13] може отримати метод електротензометрії, що має найменші обмеження в порівнянні з кожним з перерахованих методів.

Висновки

1. Атестація фізико-механічних характеристик сучасних полімерних матеріалів, що застосовуються в радіоелектроніці, ускладнена через їх залежність від технології виробництва, форми виробу, способу і швидкості прикладання навантаження, температури і т.д. Це викликає необхідність розробки експериментального методу визначення цих характеристик в умовах, максимально наближених до умов експлуатації.

2. Показано необхідність розробки математичної моделі для визначення напружень в спряженій системі "герметизована конструкція – герметизуючий матеріал" з урахуванням напружень від нерівномірності температурного розподілу.

3. Найбільш широке застосування для дослідження напружень та деформацій в ВЕТ може отримав метод електротензометрії, що має найменші обмеження в порівнянні з кожним із перерахованих методів, при відповідному доопрацюванні стосовно специфіки виробів електронної техніки.

Література

1. Галушко А.И. Внутренние напряжения в герметизирующих компаундах радиоэлектронной аппаратуры / Галушко А.И. – М. : Советское радио, 1974. – 104 с.
2. Кузнецов О.А. Прочность элементов микроэлектронной аппаратуры / Кузнецов О.А., Погалов А.И., Сергеев В.С. – М. : Радио и связь, 1990. – 144 с.
3. Герметизация радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры полимерными материалами : материалы краткосроч. науч.-техн. семинара, 16–17 мая / [под ред. И. М. Эрлиха]. – Л. : ЛДНТП, 1989. – 92 с.
4. Эрлих И. М. Кремнийорганические компаунды для герметизации РЭА : материалы экспресс-семинара, 15 мая / [под науч. ред. К. А. Бояджи]. – Л. : ЛДНТП, 1991. – 86 с.
5. Фізико-технічні основи мікроелектроніки / [В.А. Мокрецький, С.М. Дранчук, О.В. Андрієнов, С.В. Ленков, В.В. Зубарев]. – Одеса : ТВС, 2002. – 712 с.
6. Напряжения и деформации в элементах микросхем / [В.С. Сергеев, О.А. Кузнецов, Н.П. Захаров, В.А. Летягин]. – М. : Радио и связь, 1987. – 88 с.
7. Шайко-Шайковский А.Г. Конструктивно-технологические пути повышения статической прочности микроприборов РЭА, содержащих стеклоспаи и герметизируемых компаундами : дис. ... канд. техн. наук / Шайко-Шайковский А.Г. – Хмельницкий, 1982. – 217 с.
8. Пасынков В. В. Материалы электронной техники / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. – М. : Высшая школа, 1986. – 368 с.
9. Бондаренко О.Е. Конструктивно-технологические основы проектирования микросборок / О.Е. Бондаренко, Л.М. Федотов. – М. : Радио и связь, 1988. – 196 с.
10. Дайчик М.Л. Методы и средства натурной тензометрии : [справочник] / Дайчик М.Л., Пригоровский Н.И., Хуршудов Г.Х. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.
11. Камбург В.Г. Моделирование температурных полей в сложных микромодулях, герметизируемых компаундом / В.Г. Камбург, Григоренко С.А., Ковтун И.И. // Вісник Технологічного університету Поділля. – Част. 3. – Спец. Випуск. – 2000. – №6. – С. 10 – 13.
12. Ройзман В. П., Ковтун И.И., Петрашук С.А. Термопрочность компаундированных пассивных электронных элементов // Труды третьей междунар. научно -практической конф. "Современные информационные и электронные технологии (СИЭТ 2002)". – Одесса: Одесский политехнический университет, ОАО "Нептун". – 2002. – С. 145.
13. Петрашук С.А. Защита электронных элементов в узлах с общей герметизацией от механических воздействий, вызванных действием температуры // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2001. – №4. – С.43–46.
14. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под редакцией Р. Г. Варламова. – М.: Сов. Радио, 1980. – 480 с.

15. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т./Под ред. Ю.В. Корицкого. – М.: Энергия, 1974. – Т.2. – 616 с.
16. Поляков А. А. Технология керамических радиоэлектронных материалов. – М.: Радио и связь, 1989. – 200 с.
17. Кузнецов О. А., Погалов А.И., Сергеев В.С. Прочность элементов микроселектронной аппаратуры. –М.: Радио и связь, 1990. – 144 с.
18. Тонкая техническая керамика: Пер. с японского /Под ред. Х. Янахида. – М.: Металлургия, 1986. – 280 с.
19. Каленкович Н.И. Механические воздействия и защита радиоэлектронных средств: Учебник. – М.: Наука, 1989 – 365 с.
20. Ройзман В. П, Григоренко С. А. Міцність пасивнихелектронних компонентів, герметизованих компаундом, при термоударах // Вісник “Радіоелектроніка тателекомунікації”. – Львів: Вид-во Державного університету “Львівська політехніка”– 2000. – №387. – С. 265 – 270.
21. Камбург В.Г., Ковтун И.И., Григоренко С.А. Влияние температуры на механическую прочность пассивных электронных компонентов, герметизируемых компаундом //Надежность и качество. Книга трудов международного симпозиума. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та. – 2000. – С. 348 – 351.

References

1. A.I. Galushko Vnutrennie naprjazenija v germetizirujushhij kompaundah radiojelektroonnoj apparatury. Moscow, Sovetskoe radio, 1974. 104 s.
2. O.A.Kuznecov , A.I.Pogalov, V.S. Sergeev. Prochnost' jelementov mikrojelektroonnoj apparatury. Moscow, Radio i svjaz', 1990. 144 p.
3. Germetizacija radiojelektroonnoj i jelektrotehnicheskoy apparatury polimernymi materialami. Materialy kratkosroch. nauch.-tehn. seminaru, Leningrad, LDNTP, 1989. - 92 p.
4. I. M. Jerlih. Kremnijorganicheskie kompaundy dlja germetizacii RJeA, Leningrad, LDNTP, 1991. - 86 p.
5. V.A. Mokrec'kij, S.M. Dranchuk, O.V. Andrienov, S.V. Lenkov, V.V. Zubarev. Fiziko-tehnichni osnovi mikroelektroniki, Odesa, TVS, 2002. 12 p.
6. V.S. Sergeev, O.A.Kuznecov, N.P. Zaharov, V.A. Letjagin. Naprjazhenija i deformacii v jelementah mikroshem, Moscow, Radio i svjaz', 1987. 88 p.
7. A.G. Shajko-Shajkovskij. Konstruktivno-tehnologicheskie puti povysenija staticheskoj prochnosti mikrop-riborov RJeA, sodержashhij steklospai i germetiziruemyh kompaundami: Dis... kand. Tehn. nauk: - Hmel'nickij, 1982. - 217 p.
8. V. V.Pasynkov , V. S. Sorokin. Materialy jelektroonnoj tehniki, Moscow, Vysshaja shkola, 1986. 368 p.
9. O.E.Bondarenko , L.M. Fedotov. Konstruktivno-tehnologicheskie osnovy proektirovanija mikroshorok, Moscow, Radio i svjaz', 1988. 196 p.
10. M.L.Dajchik , N.I.Prigorovskij , G.H. Hurshudov. Metody i sredstva naturnoj tenzometrii: Spravochnik, Moscow, Mashinostroenie, 1989. 240 p.
11. V.G.Kamburg , S.A.Grigorenko , I.I. Kovtun Modelirovanie temperaturnyh polej v slozhnyh mikromodu-ljah, germetiziruemyh kompaundom. Visnik Tehnologichnogo universitetu Podillja. , Volume 3, 2000, Issue 6, pp. 10-13.
12. V. P.Rojzman , I.I.Kovtun , S.A. Petrashhuk. Termoprochnost' kompaundirovannyh passivnyh jelektroonnyh jelementov, in Conference Proceedings “Sovremennye informacionnye i jelek-troonnye tehnologii (SIJeT 2002), Odessa, Odesskij politehnicheskij universitet, OAO “Neptun”, 2002, p. 145.
13. S.A. Petrashhuk. Zashhita jelektroonnyh jelementov v uzlah s obshhej germetizaciej ot mehanicheskijh vozdejst-vij vyzvannyh dejstviem temperatury, Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnijh procesah, Hmel'nic'kij, 2001, Issue 4, p.43-46.
14. Spravochnik konstruktora REA: Obschie printsipy konstruirovaniya, Moscow, Sov. Radio, 1980, 480 p.
15. Spravochnik po elektrotehnicheskim materialam: V 3 t. , Moscow, Energiya, 1974. Volume 2, 616 p.
16. A.A. Polyakov Tehnologiya keramicheskijh radioelektronnyh materialov, Moscow, Radio i svyaz, 1989, 200 p.
17. O.A.Kuznetsov , A.I.Pogalov , V.S. Sergeev Prochnost elementov mikroelektronnoy apparatury, Moscow, Radio i svyaz, 1990. - 144 p.
18. Tonkaya tehnicheskaya keramika, Moscow, Metallurgiya, 1986, 280 p.
19. Kalenkovich N.I. Mehanicheskie vozdeystviya i zaschita radioelektronnyh sredstv, Moscow, Nauka, 1989, 365 p.
20. Royzman V., Grigorenko S. MltsnIst pasivnih elektronnyh komponentlv, germetizovanih kompaundom, pri termoudarah, VIsnik “Radloelektronika ta telekomunikatsiYi”, LvIv, Vid-vo Derzhavnogo unIversitetu “Lvivska polItehnika”, 2000, №387, P. 265 - 270.
21. Kamburg V.G., Kovtun I.I., Grigorenko S.A. Vliyanie temperatury na mehanicheskuyu prochnost passivnyh elektronnyh komponentov, germetiziruemyh kompaundom, Nadezhnost i kachestvo, in Conference Proceedings, Penza, Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2000, P. 348 - 351.

Надійшла 16.1.2013 р.

Статтю представляє: к.т.н. Горошко А.В.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА БАЗЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ И СТАНОЧНОЙ СИСТЕМ

Рассматривается математическая модель новой технологии производства штампов холодной листовой штамповки, позволяющая сократить время и трудоемкость проектирования, и изготовление деталей штампов.

Ключевые слова: интегрированная сквозная подготовка производства, новая технология, продление «жизненного цикла» штампов, математическая модель.

New technology of production of stamps of the cold sheet stamping, allowing to shorten time and labour intensiveness of project and making of details of stamps, is examined.

Keywords: computer-integrated through preproduction, new technology, extension of «life cycle» of stamps, adaptive model.

Введение

Создание интегрированных сквозных технологий подготовки производства, разработка управляющих программ для станков с ЧПУ невозможна без создания систем автоматизации процессов управления на базе инструментальных и станочных систем. В тоже время в современном производственном процессе холодная листовая штамповка (ХЛШ), выполняемая до 85% «вручную», является одним из наиболее распространённых методов, который позволяет: 1. Изготавливать самые разнообразные по форме детали в короткие сроки с минимальными затратами. 2. Обеспечивать удельный вес штампуемых деталей для основных отраслей промышленности до 60% до 85%. 3. Расширять номенклатуру холодноштампуемых деталей за счёт труднодеформируемых и малопластичных металлов, сплавов и неметаллических деталей. 4. Переводить ряд процессов литья иковки на холодную листовую штамповку, что снижает вес детали на 50% и уменьшает расход металла до 70%. 5. Обеспечивать применение холодной листовой штамповки кроме серийного, а также в мелкосерийном и единичном производствах. Поэтому вышесказанное приводит к выводу о необходимости дальнейших исследований и проведения экспериментальных работ в области автоматизированной подготовки производства штампов ХЛШ. Сказанное вызывает необходимость, с одной стороны, замены общепринятых (ручных) методов решения задач подготовки холодноштампового производства, с другой стороны, создания интегрированных адаптивных сквозных систем автоматизированного конструкторско-технологического проектирования и изготовления штампового инструмента на базе математических методов и средств вычислительной техники.

Состояние проблемы

Тенденция рынка к мелкосерийному (единичному) производству изделий заставила многих производителей обращаться к более гибким методам обработки, позволяющим чаще перестраивать производство, затрачивая на это минимум времени и трудозатрат. В связи с этим возникла необходимость в технически гибких системах и спецстанках, позволяющих повысить производительность при мелкосерийном производстве. Рассмотренные последние публикации и в них исследования носят демонстрационный характер [1] с относительным приближением к реальному проектированию и изготовлению штампов ХЛШ.

Цель исследований

Повышение эффективности изготовления штампового инструмента холодной листовой штамповки за счет сокращения сроков и трудовых затрат.

Основные результаты исследования

В настоящее время во всех отраслях страны заводы, производящие конструкции штампов из металла осуществляют производство (проектирование и изготовление) штампов, в основном, на своих предприятиях «вручную», что приводит к большому трудовым и финансовым затратам. Предлагается автоматизировать указанный производственный процесс, используя ИС СТСП – интегрированную сквозную систему конструкторско-технологической подготовки производства (ПАТЕНТ № 48027, заявка 27.07.2009, опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5), представленный в перечне литературы [2]. Система работает следующим образом. На «Вход» подаётся информация о чертеже штампуемой детали и некоторые сведения технологического и производственного характера: количество штампов необходимое для проектирования, включая штампы дублёры, возможна ли замена толщины штампуемой детали, марки материала и конфигурации штампуемой детали и т. д.

По чертежу детали разрабатывается эскиз раскроя для дальнейшего его кодирования (при отсутствии устройства сканирования чертежей заказчика). Полученная информация от кодирования эскиза заносится в четыре таблицы кодированных сведений (ТКС). Закодированная информация вводится в ПЭВМ для формирования и распознавания исходного чертежа, вычерчивания его и контроля. Кодирование и контроль чертежа штампуемой детали заказчика, полученного с графического устройства (плоттера),

производится на «Рабочем месте конструктора». Контроль осуществляется кодировщиком визуально и, при необходимости, производится повторное вычерчивание. Далее автоматически информация о штампуемой детали поступает в систему «Раскрой», где раскраивается полоса (лента), выдаётся чертёж раскроя и сведения с некоторыми технологическими данными. Система «Раскрой» анализирует 72 варианта раскроя и выдаёт оптимальный. Автоматически полученная информация передаётся в систему «Конструктор», где разрабатываются чертежи штампа или «штамп-полуфабриката», а далее информация автоматически поступает в систему «Технолог», где разрабатываются технологические карты на каждую деталь спроектированного штампа. Полученная технологическая информация поступает в систему «Оператор» для разработки УП для станков с ЧПУ. Разработанные УП автоматически без участия оператора (безлюдная, безбумажная технология) передаются [3,4] в участок «Производство». При необходимости чертежи деталей штампа и технологические карты выдаются заказчику.

Учитывая большой производственный опыт, предлагается производство (проектирование, изготовление в металле и ремонт) штампов осуществлять централизованно по следующему алгоритму (см. рис. 1). В стране создаются (как минимум) два предприятия – изготовителя дублирующие друг друга для обеспечения бесперебойной работы. С этой же целью они соединены между собой информационной связью. Предприятия изготовители – дублеры, сформировав «Портфель» заказов по типоразмерам штампов (их может быть: 10, 20, 50 и более), спроектировав и изготовив их с использованием штамп - полуфабрикатов в металле, выдают штампы заказчику, но не выдают заказчику комплекты чертежей и технологических карт, оставляя их сведения в базах данных и знаний (БДиЗ) предприятий – дублеров, осуществляющих производство (проектирование и изготовление) штампов при помощи ЭВМ (потоки 1 и 2). Таким образом на этой стадии освобождаются десятки (сотни) конструкторов и технологов, изготавливавших эту документацию на предприятиях дублерах - изготовителях штампов. Заводы заказчики, отправляя штампы (и штампы – дублеры, которых заказчик заказывает от 2_х до 4_х штук и более) на централизованный ремонт (поток 3) предприятиям изготовителям, которые используют для ремонта ту же ИСС ТПП, тоже оборудование и тех же специалистов – продление «жизненного цикла» штампов [5,6], также высвобождают у себя десятки (сотни) конструкторов, технологов и рабочих высокой квалификации, участвовавших в ремонтных работах штампов (поток 4). Математическая модель новой технологии производства штампов по прибыльности и себестоимости представлена ниже (1-18).

Рассмотрим систему предприятий «изготовители - заказчики штампов» для обеспечения «основного Заказчика» штампуемыми деталями на: комбайны, станки, самолеты и т.д. Рассматривается базовый вариант - 1 организации: изготовления (проектирование и изготовление в металле штампов), эксплуатация и ремонт, а также предлагается новая технология организации производства штампов - новый вариант - 2. В системе имеются 2 предприятия-изготовителя и n предприятий - заказчиков. Цель j-го (j=1,2,...,n) предприятия - заказчика штампов – минимизировать затраты, связанные с оплатой документации и эксплуатацией штампов.

Математические модели проектирования и изготовления штампов для ЗАКАЗЧИКОВ

Параметры в моделях:

- | | | |
|---|-----|---|
| $\min c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^3 + o_j + z_j$ | (1) | b_j – потребность j-го предприятия в работающих штампах, |
| $x_j^1 + x_j^2 \geq b_j$ | (2) | c_j^1 – стоимость разработки проекта и изготовления, одного образца штампа, |
| $x_j^1 \geq 0 \quad x_j^2 \geq 0, \quad x_j^1, x_j^2 - \text{цел. числа}$ | (3) | c_j^2 – стоимость изготовления дополнительного штампа(дублёра) по разработанному проекту, |
| $\min c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^4(y_j^1 + y_j^2)$ | (4) | c_j^3 – стоимость изготовления документации по проекту, |
| $x_j^1 + x_j^2 - (y_j^1 + y_j^2) = b_j$ | (5) | o_j – затраты на покупку и обслуживание ремонтного оборудования, |
| $x_j^1 \geq 0, \quad x_j^2 \geq 0, \quad y_j^1 \geq 0,$ | (6) | z_j – затраты на оплату труда на ремонтном участке. |
| $y_j^2 \geq 0, \quad x_j^1, x_j^2, y_j^2 - \text{цел. числа}$ | | c_j^4 – стоимость ремонта одного штампа, который выполняется предприятием-изготовителем – известная величина. |

Оценка разности между значением целевой функции (1) и (4):

$$c_j^3 + o_j + z_j - c_j^4(y_j^1 + y_j^2) \square 0$$

Искомые величины:

x_j^1 – количество заказанных штампов на первом предприятии-изготовителе,

x_j^2 – количество заказанных штампов на втором предприятии-

y_j^2 – количество ремонтируемых штампов на втором предприятии- изготовителе.

Математические модели проектирования и изготовления для ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ

$$\max \sum_{j=1}^n (c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^3) - (d_j^1 + d_j^2(x_j^1 + x_j^2) + d_j^3)$$

(7)

$$x_j^1 + x_j^2 \geq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(8)

$$\sum_{j=1}^n (x_j^1 + x_j^2) \leq v^1 + v^2$$

(9)

$$x_j^1 \geq 0, \quad x_j^2 \geq 0, \quad x_j^1, x_j^2 - \text{целые числа}$$

(10)

$$\max \sum_{j=1}^n \left[c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^4(y_j^1 + y_j^2) - (d_j^1 + d_j^2(x_j^1 + x_j^2) + d_j^4(y_j^1 + y_j^2)) \right]$$

(11)

$$x_j^1 + x_j^2 \geq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(12)

$$\sum_{j=1}^n (x_j^1 + x_j^2) \leq 0,95(v^1 + v^2)$$

(13)

$$\sum_{j=1}^n (y_j^1 + y_j^2) \leq 0,05(v^1 + v^2)$$

(14)

$$x_j^1 \geq 0, \quad x_j^2 \geq 0, \quad x_j^1, x_j^2 - \text{целые числа.}$$

(15)

Оценка разности между значением целевой функции (11) и (7):

$$\sum_{j=1}^n [(c_j^4 - d_j^4)(y_j^1 + y_j^2)] - \sum_{j=1}^n (c_j^3 - d_j^3) \square 0,$$

Рассмотрим ценность двух видов технологической организации производства, то есть представим себестоимость продукции. Θ_j – количество единиц продукции, производимой j-м предприятием на штамповом оборудовании. Тогда удельный вес затрат j-го предприятия на изготовление, производство и обслуживание штампового оборудования готовой продукции с учетом (1) и с учетом (4) – соответственно для двух видов технологической организации производства и обслуживания составит:

$$\frac{c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^3 + o_j + z_j}{\Theta_j} \tag{16}$$

$$\frac{c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^4(y_j^1 + y_j^2)}{\Theta_j} \tag{17}$$

Оценим отношения (16) и (17):

$$\frac{c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^3 + o_j + z_j}{\Theta_j} \square \frac{c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^4(y_j^1 + y_j^2)}{\Theta_j} \tag{18}$$

Как видим из формулы (18) себестоимость базового варианта - 1 существенно превышает себестоимость новой технологии - варианта 2.

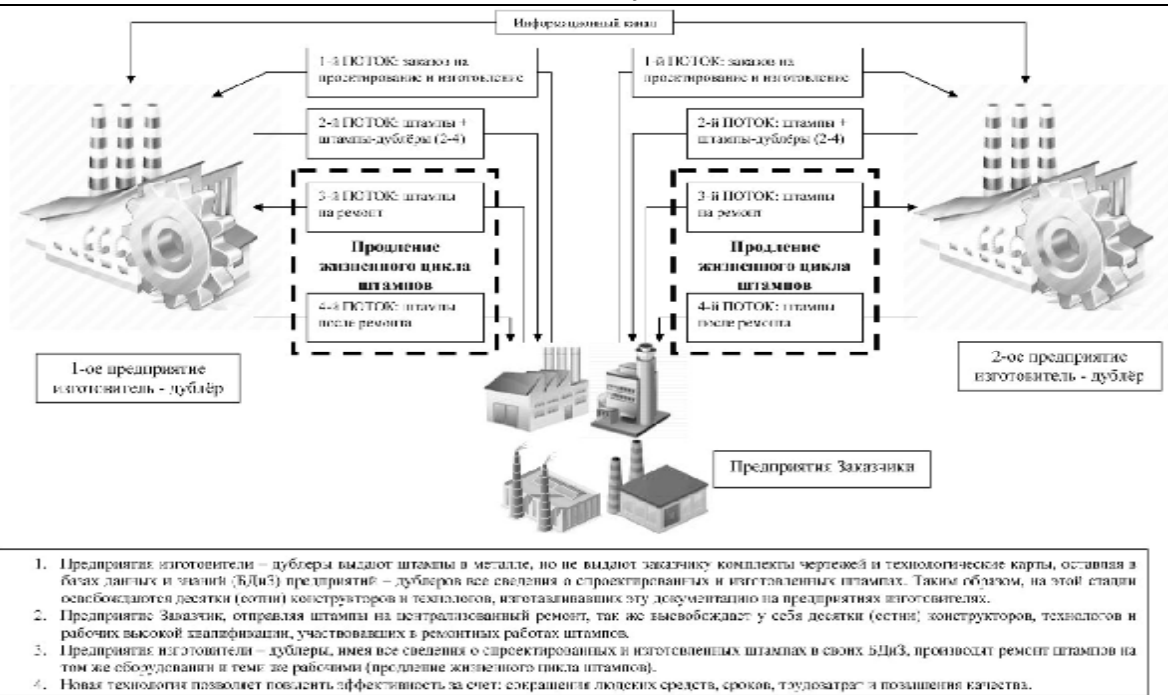


Рис.1. Модель новой технологии производства деталей штампов

Выводы

Представленная в статье ИСС ТПП [2] значительно повышает эффективность по сравнению с ручным проектированием и изготовлением штампов. В тоже время по новой технологии затраты на ремонт у изготовителя $c_j^4 (y_j^1 + y_j^2)$ существенно меньше чем для j-го предприятия заказчика штампов, отпадает потребность в изготовлении документации, содержании своего ремонтного цеха и обслуживании ремонтного оборудования $(c_j^3 + o_j + z_j)$. Как видно, себестоимость конечной продукции (штампующих деталей), изготовленной на штамповом оборудовании, при новой модели технологии проектирования и изготовления штампов существенно меньше, так как предприятия не несут затраты, связанные с содержанием ремонтных цехов и обслуживанием ремонтного оборудования, заказов для ремонта штампового инструмента: металла, электроэнергии, дополнительных площадей и т.д.. Кроме того себестоимость существенно снижается за счет документации, которую нет необходимости выдавать заказчику. В этом случае высвобождаются конструкторы, технологи и копировщицы (ручной копировки), что также снижает себестоимость конечной продукции. Гибкое производство автоматизированных процессов управления наиболее выгодно в индивидуальном, мелкосерийном и серийном производстве, которое охватывает сейчас до 85 и более всего производства машино- и приборостроения. Однако его законы могут распространяться и на области крупносерийного производства, например, авто-, станко-сельхоз- и тракторостроения.

Литература

1. Клецов Г.М. Математическая модель автоматизированной интегрированной системы подготовки производства штампов ХЛШ/Г.М.Клецов.//Одеса.:Вісник, випуск №29. Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2008.- С.136-143.
2. Квасников В.П. Патент «Метод інтегрованої наскрізної підготовки виробництва та виготовлення деталей штампов», №48027 від 10.03.2010 Бюл.№5/В.П.Квасников, Л.В. Коломиец, Г. М. Клецов и др. – К.: 2010.
3. Клецов Г.М. Адаптивна наскрізна комп'ютерна технологія управління підготовкою виробництва та виготовлення деталей штампов на базі штамп - напівфабрикатів / Г.М. Клецов. - Одеса//Під загальною редакцією доктора технічних наук, професора Л.В. Коломійця.2010. – 283 с.
4. Клецов Г.М. Безлюдна, безпаперова, наскрізна комп'ютерна технологія управління виробництвом штампов ХЛШ є критерієм якості/Г.М. Клецов, Л.В.Коломиец. // Одеса: Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск №37, Зовнішрекламсервіс, 2010. – С. 161-165.
5. Клецов Г.М. Интегрированная адаптивная сквозная компьютерная технология механообработки деталей штампов холодной листовой штамповки /Г.М. Клецов.// Київ: Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вип.№30.2011. – С.110-114.
6. Геннадий Клецов. Продление «жизненного цикла» штампового инструмента – основной критерий интегрированной сквозной системы автоматизации проектирования штампов/ Г. Клецов, Л. Коломиец // Сборник Міжнародних науково-технічних трудов MOTROL' 2012, Том 14.№1 LUBLIN, Польща, 2012 С.167- 172.

Надійшла 28.1.2013 р.
Статтю представляє: Г.М. Клецов

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАЄМОДІЇ КОМПАУНДА З ВИВОДОМ І ОБОЛОНКОЮ ТА РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ КОМПАУНДУ В РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЯХ ГЕРМОВУЗЛІВ ТОНКОПЛІВКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ

В роботі розроблені та досліджені математичні моделі взаємодії компаунда з виводом та оболонкою в різних конструкціях гермовузлів тонкоплівкових та електролітичних конденсаторів. Зроблено порівняльний аналіз різних конструкцій гермовузлів конденсаторів. Внесені рекомендації щодо підвищення надійності конденсаторів.

Ключеві слова: гермовузол, тонкоплівковий конденсатор, компаунд, адгезійний зв'язок, контактний тиск.

In paper mathematical models of cooperation of compound with the outlet and jacket in different constructions of hermeneutic knots of thin-film and electrolytic capacitors are developed and investigated. The comparative analysis of different designs of hermeneutic knots of capacitors has been made. Recommendations on raise of reliability of capacitors have been brought in.

Keywords: tight junction, thin-film capacitor, compound, adhesive bond, contact pressure.

Постановка проблеми. В сучасній радіоелектронній апаратурі велику питому вагу відносно всіх радіоелементів становлять конденсатори. Серед них найбільш чутливими до впливу дестабілізуючих факторів є тонкоплівкові та електролітичні конденсатори з вузлом вологозахисту, що герметизується компаундом, наприклад конденсатори К78-3, К50-16, К50-38 (рис. 1). Найбільш поширеним дефектом таких конденсаторів є розгерметизація їх вузлів вологозахисту, внаслідок відшарування компаунду від корпусу та виводу, розтріскування компаунду та його виштовхування з корпусу. Причинами цього можуть бути як експлуатаційні фактори: механічні uszkodження, термоудари (різка зміна температури), так і фактори, що виникають на етапі виробництва: конструкторські та технологічні.

Аналіз останніх досліджень. Багато досліджень проводилося по вибору герметизуючих компаундів для вузлів вологозахисту з урахуванням їх фізико-механічних властивостей. Однак майже не розглядалися питання взаємодії герметизуючих компаундів з елементами конструкції конденсаторів выводами та захисними металевими оболонками.

Постановка завдання. В даній статті розглядаються саме фактори, що впливають на міцність та герметичність вузла вологозахисту, які виникають на етапі виробництва, а саме при полімеризації компаунда.

При полімеризації цього компаунда, що проходить при температурі 100 °С, стакан, вивід та компаунд, нагріваючись до цієї температури, вільно розширюються. Після полімеризації, при вистиганні, ці деталі вже не можуть звужуватись незалежно одна від одної, і з цієї причини на границі компаунд-оболонка та компаунд вивід виникає контактна взаємодія (натяг), що втягує оболонку конденсатора в середину та стискає вивід. Виникаюча контактна взаємодія може бути направлена як на відрив контактуючих поверхонь різних матеріалів, так і на їх притискання. В подальшому цю взаємодію, узагальнюючи, будемо називати контактним тиском.

Якщо цей контактний тиск діє на відрив компаунда від оболонки або виводу і його значення перевищить значення адгезії матеріалів, що з'єднуються, то виникне відшарування та розгерметизація. При надмірному тиску на вивід може виникати розтріскування компаунду, що також призведе до розгерметизації.

Щоб розглянути взаємодію матеріалів, контактуючих у вузлі вологозахисту, була розроблена математична модель, в якій тонкостінний алюмінієвий стакан 3 (рис. 1) приймається за циліндричну оболонку, навантажену по частині її довжини (або по всій довжині) розподіленим контактним тиском і далі розглядається деформація цієї оболонки. Можна розглядати на міцність та жорсткість компаундний циліндр 2 (рис. 1) або диск, що знаходиться під дією того ж самого за величиною але протилежного за знаком тиску. Сумісну взаємодію компаунда з оболонкою та виводом можна розглянути і по схемі тришарових циліндрів, навантажених контактним тиском на границі розділу метала і компаунда.

Самі ж значення контактного тиску можуть бути знайдені з умови сумісності деформації контактуючих поверхонь компаунда і оболонки компаунда і виводу.

Аналіз конструкції конденсатора (рис. 1) дозволяє припустити, що наявність текстолітової перегородки утворює додаткову колоду опору і тим самим як би вкорочує довжину оболонки (десь у 8–10 разів), збільшуючи її жорсткість.

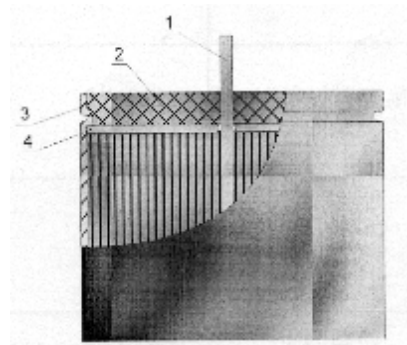


Рис. 1. Конструкція конденсатора
1 – вивід, 2 – компаунд,
3 – корпус, 4 – перегородка

Тому потрібно перевірити, чи не приведе до значного збільшення деформації оболонки в області контакту з компаундом заміна текстолітової перегородки на гумову, що не є опорою, або має значно меншу жорсткість.

Для початку розглянемо математичну модель деформації оболонки при наявності в конструкції конденсатора текстолітової перегородки.

Для цього розглянемо круглу циліндричну оболонку постійної товщини, що знаходиться під дією симетричного, відносно вісі, рівномірно розділеного по всій висоті вісі циліндра довжиною l_2 внутрішнього тиску інтенсивністю q (рис. 2). Необхідно підрахувати прогин (переміщення) серединної поверхні цієї короткої оболонки – стакана довжиною l_2 – від перегородки до вільного торця.

Відомо з [1], що задачі, пов'язані з симетричними деформаціями круглих циліндричних оболонок постійної товщини, зводяться до інтегрування диференційного рівняння:

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + \frac{E \cdot h}{R^2 \cdot D} y = \frac{f(z)}{D}, \quad (1)$$

де $y(z)$ – радіальне переміщення точок серединної поверхні оболонки;

h – товщина оболонки;

R – радіус серединної поверхні оболонки;

E – модуль пружності матеріалу;

D – циліндрична жорсткість

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)};$$

μ – коефіцієнт Пуансона матеріалу;

$f(z)$ – розподілене навантаження, прикладене до серединної поверхні оболонки; в нашому випадку будемо вважати, що $f(z) = q = const$, тобто не будемо приймати до уваги можливої нерівномірності контактного тиску по довжині контактуючої поверхні.

Тоді задача зводиться до знаходження функції $y(z)$, що є рішенням рівняння:

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + \frac{Eh}{R^2 D} y = \frac{q}{D}. \quad (2)$$

Для однозначного визначення цієї функції необхідно вказати граничні умови на краях оболонки. Сумістимо початок координат з лівим кінцем гермовузла оболонки, а вісь OZ – з віссю симетрії циліндра.

Так як на лівому кінці гермовузла оболонки є дно у вигляді текстолітової перегородки, то, вважаючи його защемленням оболонки, в точці $Z=0$ радіальне переміщення і кут повороту точок серединної поверхні рівні нулеві.

Враховуючи вирази для згинального моменту M та перерізуючої сили Q :

$$M = \frac{d^2 y}{dz^2} D, \quad Q = \frac{d^3 y}{dz^3} D$$

і вважаючи стакан оболонкою, защемленою на лівому кінці, де стоїть текстолітова перегородка $z=0$, запишемо граничні умови в вигляді:

$$\begin{cases} y_{z=0} = 0 \\ \frac{dy}{dz}_{z=0} = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

а на вільному кінці, де $z=l_2$

$$\begin{cases} \frac{d^2 y}{dz^2}_{z=l_2} = 0 \\ \frac{d^3 y}{dz^3}_{z=l_2} = 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Задача знаходження прогину точок серединної поверхні циліндричної оболонки зводиться до знаходження частинного розв'язку рівняння (2), що вдовольняє граничним умовам (3), (4).

Вводячи позначення:

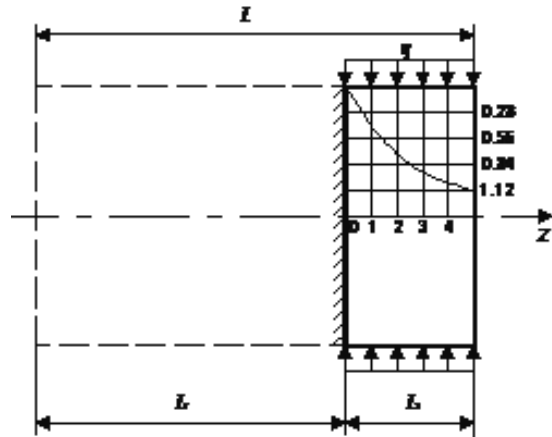


Рис. 2. Залежність переміщень серединної поверхні короткої оболонки по її довжині

$$4\beta^4 = \frac{Eh}{R^4 D} = \frac{12(1-\mu^2)}{R^2 h^2}, \quad (5)$$

ми можемо представити рівняння (2) в спрощеному вигляді:

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + 4\beta^4 y = \frac{q}{D}. \quad (6)$$

Це лінійне неоднорідне рівняння четвертого порядку з постійними коефіцієнтами. Загальне рішення цього рівняння являє собою суму двох рішень рівняння y_0 однорідного рівняння, що відповідає (6), та часткового рішення y_1 рівняння (6).

$$y = y_0 + y_1$$

Оскільки права частина рішення – величина постійна, то часткове рішення (6) являє собою багаточлен нульового ступеня:

$$y_1 = \frac{q}{4\beta^4 D},$$

а y_0 отримаємо, розв'язавши однорідне рівняння:

$$\frac{d^4 y_0}{dz^4} + 4\beta^4 y_0 = 0. \quad (7)$$

Рішенням цього рівняння буде вираз:

$$y_0 = C_1 k_0(\beta z) + C_2 k_1(\beta z) + C_3 k_2(\beta z) + C_4 k_3(\beta z), \quad (8)$$

де C_1, C_2, C_3, C_4 – довільні сталі, що визначаються з чотирьох граничних умов (2.4); k_0, k_1, k_2, k_3 – функції Крилова від аргументу βz , що визначаються виразами:

$$k_0 = \frac{1}{2}(e^{\beta z} + e^{-\beta z}) \cos \beta z; \quad k_1 = \frac{1}{4}[(e^{\beta z} + e^{-\beta z}) \sin \beta z + (e^{\beta z} - e^{-\beta z}) \cos \beta z];$$

$$k_2 = \frac{1}{4}(e^{\beta z} - e^{-\beta z}) \sin \beta z; \quad k_3 = \frac{1}{8}[(e^{\beta z} + e^{-\beta z}) \sin \beta z - (e^{\beta z} - e^{-\beta z}) \cos \beta z].$$

Загальне рішення неоднорідного рівняння (6) прийме вигляд:

$$y = C_1 k_0(\beta z) + C_2 k_1(\beta z) + C_3 k_2(\beta z) + C_4 k_3(\beta z) + \frac{q}{4\beta^4 D}. \quad (9)$$

Визначивши довільні сталі C_1, C_2, C_3, C_4 з умов (2.4), отримаємо кінцевий вираз для прогину:

$$y(z) = 4\delta \frac{\overline{k_1^2 + k_0 k_2}}{k_0^2 + 4k_1 k_3} k_2(\beta z) - 4\delta \frac{\overline{k_0 k_1 + 4k_2 k_3}}{k_0^2 + 4k_1 k_3} k_3(\beta z) + \delta [1 - k_0(\beta z)], \quad (10)$$

де $\delta = \frac{q}{4\beta^4 D}$; $k_i(\beta l_2) = \overline{k_i}$, $i = 0, 1, 2, 3$.

Іншим варіантом може бути конструкція гермовузла конденсатора в якому текстолітова перегородка замінена на гумову (або взагалі відсутня), тобто не обмежує переміщення оболонки конденсатора (рис. 3).

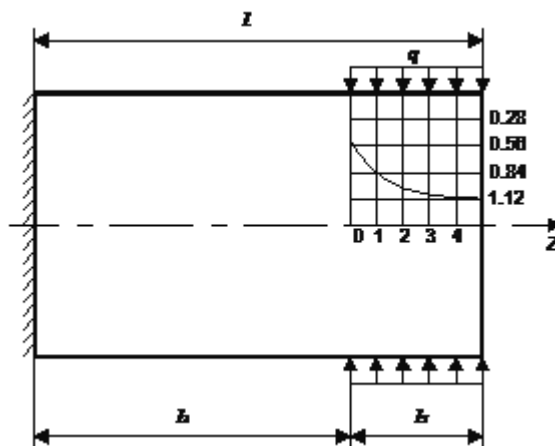


Рис. 3. Залежність переміщень середньої поверхні довгої оболонки від її довжини

Розглянемо круглу циліндричну оболонку постійної товщини з днищем на лівому кінці (рис. 3). На

правому кінці оболонки по довжині l_2 розподілений внутрішній тиск інтенсивністю q .

Розрахунок точок прогину серединної поверхні циліндричної оболонки зводиться, як і в попередньому випадку, до розв'язку диференційного рівняння (1).

Якщо початок координат сумістити з дном оболонки (жорстке защемлення), а вісь OZ з віссю симетрії циліндра то функція розподіленого навантаження, прикладеного до серединної поверхні оболонки може бути записана в вигляді:

$$f(z) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq z \leq l_1 \\ q & \text{при } l_1 \leq z \leq l \end{cases}$$

де $l_1 + l_2 = l$.

Або за допомогою одиничної функції:

$$\eta = \begin{cases} 0 & \text{при } z \leq 0 \\ 1 & \text{при } z \geq 0 \end{cases}$$

Таким чином диференційне рівняння (1) можна переписати в вигляді:

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + 4\beta^4 y = \frac{q}{D} \eta(z - l_1) - \frac{q}{D} \eta(z - l). \quad (11)$$

Граничні умови на краях оболонки для даного типу конструкції (дно оболонки зліва – жорстке защемлення, з права – вільний торець) можна записати наступним чином:

$$\begin{cases} y_{z=0} = 0 \\ \frac{dy}{dz}_{z=0} = 0 \end{cases}, \quad (12)$$

$$\begin{cases} \frac{d^2 y}{dz^2}_{z=l} = 0 \\ \frac{d^3 y}{dz^3}_{z=l} = 0 \end{cases}. \quad (13)$$

Задача зводиться до розв'язку рівняння (11), при граничних умовах (12), (13).

Знайшовши всі необхідні похідні виразу (11), та визначивши довільні сталі C_1, C_2, C_3, C_4 , розв'язок рівняння матиме вигляд:

$$\begin{aligned} y(z) = & 4\delta \frac{\bar{k}_1 k_1 (\beta(l-l_1)) - \bar{k}_0 k_2 (\beta(l-l_1))}{k_0^2 + 4k_1 k_3} k_2(\beta z) - \\ & - 4\delta \frac{\bar{k}_0 k_1 (\beta(l-l_1)) - 4\bar{k}_3 k_2 (\beta(l-l_1))}{k_0^2 + 4k_1 k_3} k_3(\beta z) + \\ & + \delta [1 - k_0 (\beta(z-l_1))] \alpha(z-l_1) - \delta [1 - k_0 (\beta(z-l))] \eta(z-l) \end{aligned}, \quad (14)$$

де $\delta = \frac{q}{4\beta^4 D}$; $k_i(\beta l) = \bar{k}_i$, $i = 0, 1, 2, 3$.

По формулах (10) та (14) був проведений розрахунок серединної поверхні, відповідно короткої (з наявністю текстолітової перетики) та довгої (без неї) циліндричних оболонок у вказаних на рисунках (1), (2) точках при наступних числових значеннях геометричних розмірів оболонки, які відповідають конденсаторові К78-3:

$$l = 50 \text{ мм}, \quad l_2 = 5 \text{ мм}, \quad h = 0,2 \text{ мм}, \quad R = 16,9 \text{ мм}.$$

Матеріал оболонки – алюмінієвий сплав АД1, для якого $E = (0,71 - 0,74) 10^6 \text{ кг/см}^2$.

Результати розрахунків приведені у вигляді графіків на рисунках (1), (2), де вигин $y(z)$ виражається у відносних одиницях:

$$\delta = \frac{q}{4\beta^4 D}. \quad (15)$$

Порівняння результатів розрахунків (графіків) показує, що різниця в прогинах розглянутих оболонок суттєва лише на невеликому, 0,2 мм проміжку поблизу перетинки, де різко відчутний вплив опори.

Про те видно, що в короткій оболонки, тобто в стакані з перетинкою відшарування може початись біля перетинки, а далі за сприятливих умов розповсюдиться по всіх областях компаунда.

На основі даного порівняльного аналізу можна зробити наступний висновок – чим більш гнучкою

буде оболонка, тим легше вона піде за компаундом (при охолодженні гермовузла) і тим меншим буде контактний тиск на відрив.

Одним з шляхів підвищення надійності таких конденсаторів є оптимізація конструкції вузла вологозахисту, що полягає в розробці оптимального профілю герметизуючого компаунду. То ж розглянемо таку реалізацію – розробку оптимального профілю герметизуючого компаунду (рис. 4) шляхом переходу від тришарового циліндра до двох двошарових: вивід-компаунд і компаунд-оболонка, чого можна домогтися спеціальною фігурною формою заливання компаунду (або утворенням канавки) у прошарку компаунду між виводом і оболонкою, а також задача визначення оптимального розміру внутрішнього і зовнішнього радіусів канавки.

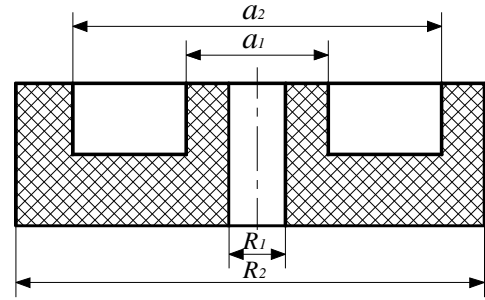


Рис. 4. Фігурна форма залитого компаунду

У якості критеріїв оптимізації розмірів (радіусів) канавки вибираються такі:

- 1) забезпечення максимально можливого розміру контактної тиску на межі вивід-компаунд;
- 2) забезпечення мінімально можливого розміру контактної тиску на межі компаунд – оболонка;
- 3) для забезпечення міцності конструкції необхідно виконання умови міцності для компаунда в обох частинах аналізованої конструкції, тобто:

$$\sigma_{\text{екв1}} < [\sigma], \tag{16}$$

$$\sigma_{\text{екв2}} < [\sigma], \tag{17}$$

де $\sigma_{\text{екв1}}$, $\sigma_{\text{екв2}}$ – еквівалентні напруження, по прийнятій теорії міцності в компаунді відповідно в з'єднаннях вивід-компаунд і компаунд-оболонка.

$[\sigma]$ – максимально допустиме напруження для компаунду, що при коефіцієнті запасу міцності $n=3$ дорівнює 150 кг/см^2 , або 15 МПа .

Крім того для забезпечення міцності адгезійного зв'язку між компаундом і корпусом, необхідно виконати умову

$$\sigma_{\text{max}}^{\text{пр}} = \sigma_{2\text{max}} \Big|_{R=R_2} \leq \frac{\sigma_{\text{адг}}}{K} \tag{18}$$

де $\sigma_{2\text{max}} \Big|_{R=R_2}$ – максимальне напруження на поверхні контакту компаунда і корпусу;

$\sigma_{\text{адг}}$, – адгезійне напруження між компаундом і корпусом, рівне 125 кг/см^2 ;

K – коефіцієнт запасу по адгезії.

Розрахункові формули для контактних тисків і напружень, характер яких визначає вибір розмірів канавки, мають вигляд [1]:

$$P_{1k} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T}{\frac{1 - 2\mu_2}{E_1} + \frac{R_1^2 (1 - 2\mu_2) + a_1^2 (1 - \mu_2)}{E_2 (a_1^2 - R_1^2)}},$$

$$P_{2k} = \frac{(\alpha_2 - \alpha_3) \Delta T}{\frac{R_2^2 (1 - 2\mu_2) + a_2^2 (1 - \mu_1)}{E_2 (R_2^2 - a_2^2)} + \frac{R_2^2 (1 - 2\mu_3) + R_3^2 (1 - \mu_3)}{E_3 (R_3^2 - R_2^2)}}, \tag{19}$$

$$\sigma_{1\text{max}} = \sigma_{1t} \Big|_{R=R_1} = \frac{P_{1k} (R_1^2 + a_1^2)}{a_1^2 - R_1^2},$$

$$\sigma_{2\text{max}} = \sigma_{2t} \Big|_{R=a_2} = -\frac{P_{2k} R_2^2}{R_2^2 - a_2^2},$$

$$\sigma_t = \sigma_{2t} \Big|_{R=R_2} = -\frac{P_{2k} (R_2^2 + a_2^2)}{R_2^2 - a_2^2},$$

де фізико-механічні характеристики E , μ , α – відповідно модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу виводу мають індекс 1, компаунда – 2, матеріалу корпусу – 3;

ΔT – перепад температур, R_1 – радіус виводу, R_2 – внутрішній радіус корпусного стакану, R_3 – зовнішній радіус корпусного стакану, σ_t – окружне напруження.

Для визначення технічно задовільних радіусів канавки розглядається практичне забезпечення

виконання поставлених умов. З цією метою розраховані значення за формулами (19) і побудовані графіки залежностей контактних тисків і максимального напруження в системі "вивід – компаунд" від внутрішнього радіуса канавки (a_1).

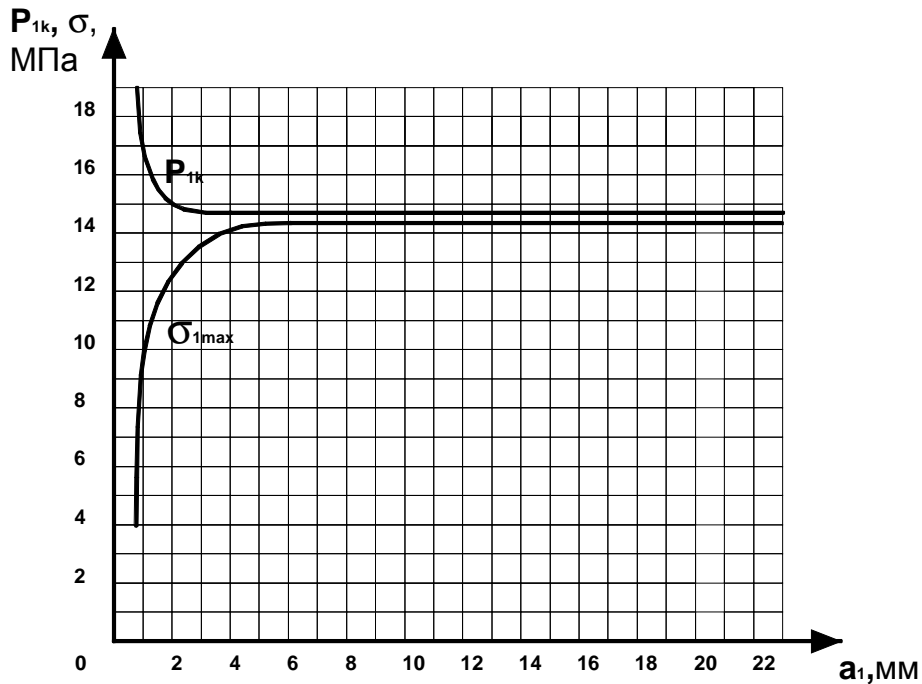


Рис. 5. Графіки залежності тиску P_{1k} і напруження σ_{1max} від внутрішнього радіуса канавки

З графіків видно, що при малих значеннях a_1 на порівняно невеличкій ділянці (до 4 мм) відбувається інтенсивне зростання P_{1k} і падіння σ_{1max} , а при зростанні a_1 до нескінченності обидві функції прямують до однієї і тієї ж самої межі:

$$\lim \sigma_{1max} = \lim P_{1k} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T}{\frac{1 - 2\mu_1}{E_1} + \frac{1 - 2\mu_2}{E_2}} \quad (20)$$

Тому технічно задовільним можна вважати значення внутрішнього радіуса канавки, що складає не менше 2,5 мм, це зручно з технологічної, економічної й інших точок зору, наприклад $a_1 = 2,5-10$ мм.

При цьому контактний тиск і максимальні напруження приймають такі значення:

при $a_1 = 2,5$ мм, $P_{1k} = 137,8$ кг/см², $\sigma_{1max} = 149,3$ кг/см²;

при $a_1 = 10$ мм, $P_{1k} = 144,4$ кг/см², $\sigma_{1max} = 145,2$ кг/см²;

тобто при товщині прошарку компаунда коло виводу 2,5-9,5 мм виконується нерівність (16), а розмір контактного тиску складає 95–99 % від максимально можливого значення.

Нами були розглянуті три типорозміри конденсаторів (табл. 1)

Таблиця 1

Типорозміри конденсаторів

№	Типорозмір конденсатора	Радіус виводу, мм	Зовнішній радіус компаунду, мм	Зовнішній радіус оболонки, мм
1	K78-3	0,5	16,5	17
2	K50-16	0,5	21,8	22,3
3	K50-38	0,5	27	27,5

Для цих трьох типорозмірів конденсаторів були побудовані графіки залежності контактного тиску (P_{2k}) і напружень (σ_{2max}) від зовнішнього радіуса канавки, що представлені на рис. 6 (а, б, в). Аналіз графіків показує, що із зростанням a_2 , тобто зі зменшенням товщини шару компаунда біля корпусу, зменшується по абсолютній величині тиск та різко збільшуються значення напружень.

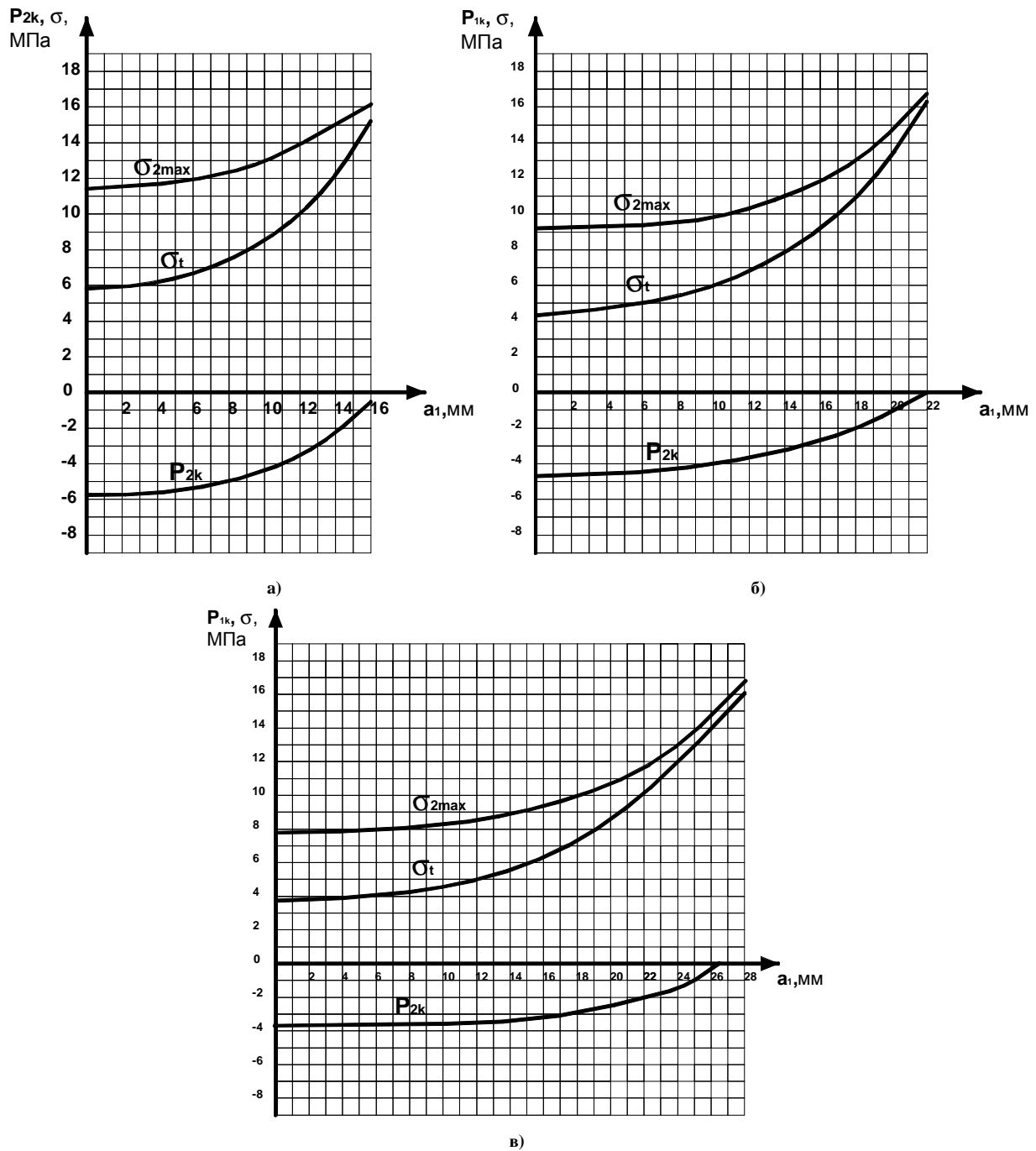


Рис. 6. Графіки залежності контактної тиску (P_{2k}), максимального окружного напруження (σ_{2max}) та окружного напруження σ_t на границі компаунд – оболонка від зовнішнього радіуса канавки a_2 для першого (а), другого (б) та третього (в) типорозмірів конденсатора

Обрані з графіків (рис. 6) технічно прийнятні значення зовнішнього радіуса канавки a_2 , а також величини, яких досягає контактний тиск та напруження в системі компаунд – корпус при відповідних значеннях a_2 для випадків запасу по адгезії $K=1$ та $K=1,5$ наведені в таблицях 2, 3. З таблиць видно, що при зміні зовнішнього радіуса канавки у вказаних межах виконуються нерівності (17) та (18) (при відповідному значенні K), а величина контактної тиску нижче величини допустимих адгезійних напружень між компаундом та корпусом.

Вибрані з таблиць радіальні розміри канавки забезпечують надійність герметизації та міцність вузла захисту від вологи.

Потрібно зауважити, що якщо з якихось міркувань коефіцієнт запасу по адгезії необхідно збільшити, то максимальне значення зовнішнього радіуса канавки для кожного із типорозмірів можна обрати аналогічно тому, як це робилось у випадках коефіцієнтів запасу, рівних 1 та 1,5, змінюючи величину допустимого напруження адгезії.

В таблиці 4 наведені значення допустимих напружень по адгезії при деяких коефіцієнтах запасу

Таблиця 2

Діапазон прийнятних значень зовнішнього радіуса канавки і відповідне йому значення контактного тиску та напруження в системі "компаунд – корпус" при значенні коефіцієнта запасу по адгезії $K=1$

Типорозмір	Прийнятне значення зовнішнього радіуса канавки, мм	Контактний тиск на границі компаунд-корпус P_{2k} , МПа	Максимальне напруження в матеріалі компаунда σ_{2max} , МПа	Максимальне напруження на границі компаунд-корпус σ_t , МПа
1	Мінімальне значення $a_2 = 6$	-5,26	12,13	6,87
	Максимальне значення $a_2 = 12$	-3,26	13,84	10,58
2	Мінімальне значення $a_2 = 14$	-3,31	11,27	7,96
	Максимальне значення $a_2 = 18$	-2,1	13,22	11,12
3	Мінімальне значення $a_2 = 16$	-3,05	9,4	6,35
	Максимальне значення $a_2 = 24$	-1,4	13,22	11,92

Таблиця 3

Діапазон прийнятних значень зовнішнього радіуса канавки і відповідне йому значення контактного тиску та напруження в системі "компаунд – корпус" при значенні коефіцієнта запасу по адгезії $K=1,5$

Типорозмір	Прийнятне значення зовнішнього радіуса канавки, мм	Контактний тиск на границі компаунд-корпус P_{2k} , МПа	Максимальне напруження в матеріалі компаунда σ_{2max} , МПа	Максимальне напруження на границі компаунд-корпус σ_t , МПа
1	Мінімальне значення $a_2 = 5$	-5,44	11,98	6,854
	Максимальне значення $a_2 = 9$	-4,49	12,8	8,3
2	Мінімальне значення $a_2 = 5$	-4,46	9,41	4,95
	Максимальне значення $a_2 = 14,5$	-3,19	11,46	8,26
3	Мінімальне значення $a_2 = 5$	-3,75	7,76	4,01
	Максимальне значення $a_2 = 19,5$	-2,54	10,61	8,08

Таблиця 4

Значення допустимих напружень по адгезії при різних коефіцієнтах запасу адгезії

Коефіцієнт запасу	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Допустиме напруження адгезії	83,3	78,1	73,5	69,4	65,7	62,5

Мінімальне значення зовнішнього радіуса канавки для всіх типорозмірів і для всіх значень вибрано 5 мм, щоб забезпечити мінімально можливу ширину канавки.

Зазначені таким способом радіальні розміри канавки забезпечують надійність, герметичність і міцність конструкції вузла вологозахисту.

Для реалізації в конструкціях конденсаторів зазначених вище пропозицій рекомендуються два варіанти пристроїв, що формують задану форму компаунда вузла вологозахисту.

Перший являє собою циліндричну обичайку, виготовлену з матеріалу, що не адгезує з компаундом, наприклад, з фторопласта (рис. 7).

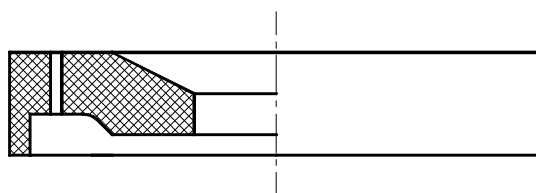


Рис. 7. Обичайка

Перевага такої конструкції в тому, що вона дає можливість формувати канавку з боку зовнішнього торця компаундного циліндра (рис. 8); при цьому конструкція конденсатора лишається без змін, а пристосування є пристроєм багаторазового використання.

До недоліків цього варіанта потрібно віднести ускладнення технології заливання, що полягає у необхідності встановлення пристосування на корпус перед заливанням і зняття його після полімеризації.

В другому варіанті замість текстолітової перегородки встановлюється гнучка фігурна діафрагма (рис. 9.), із відповідного матеріалу, а канавка формується з боку внутрішньої сторони компаундного циліндра (рис. 10.).

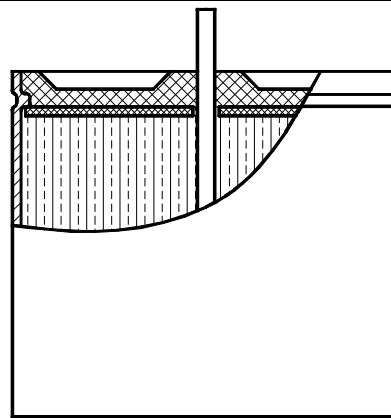


Рис. 8. Конструкція конденсатора з фігурною формою компаунда

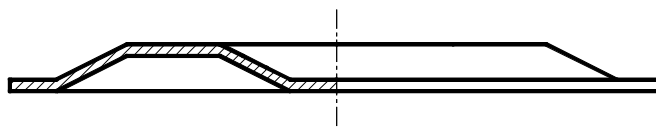


Рис. 9. Перегородка

У цьому випадку технологія складання конденсатора і герметизації вузла вологозахисту залишається без змін. В другому варіанті жорсткість діафрагми менше жорсткості текстолітової перегородки, що знижує жорсткість усього корпуса конденсатора в порівнянні з серійним, що також сприяє герметизації.

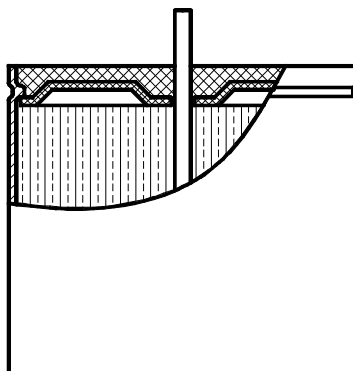


Рис. 10. Конструкція конденсатора утворена за допомогою діафрагми

Застосування будь-якого із запропонованих варіантів підвищує показники міцності і герметичності. Вибір тієї або іншої конструкції повинний ґрунтуватися з урахуванням зручності та економічності в конкретних умовах.

Висновки.

На основі аналізу взаємодії системи "оболонка-компаунд-вивід" розраховані розміри канавки в компаунді вузлів захисту від вологи конденсаторів трьох типорозмірів, що забезпечує міцність та герметичність конструкції.

За результатами розрахунків розроблені два варіанти пристроїв для формування фігурної форми компаунда у вузлах захисту від вологи конденсаторів.

Література

1. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин : [справочник] / Биргер И.А., Шор Б.Ф. Иосилевич Г.Б. – М. : Машиностроение, 1979. – 702 с.
2. Герметизация полимерными материалами в радиоэлектронике / [Тареев Б.М., Яманова Л.В., Волкодав В.А., Ивлев Н.Н.]. – М. : Энергия, 1974. – 302 с.
3. Локтаев В.С. Технология производства микромодулей / В.С. Локтаев, В.Д. Гимпельсон. – М. : Энергия, 1973. – 144 с.

Надійшла 28.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Сорокатий Р.В.

МЕТОДИКА ВРАХУВАННЯ ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ ПАРКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті проведено виклад результатів аналізу відомих досліджень у зазначеній області, визначено принципи можливості і обмеження існуючого науково-методичного апарату підтримки прийняття рішень, враховано додаткову інформацію при впровадженні багатокритеріального підходу щодо формування складу парку транспортних засобів спеціального призначення та виділено перспективні напрями подальших досліджень.

Ключові слова: формування складу парку, транспортні засоби спеціального призначення, додаткова інформація, багатокритеріальний підхід.

The article provides a summary of the results of the analysis of well-known research in this area, the definition of basic possibilities and limitations of the existing scientific-methodical apparatus of support of decision-making, taking into account additional information in the introduction of multi-criteria approach on the formation of Park of vehicles of special purpose and selection of promising directions of further research.

Keywords: formation of structure of Park of vehicles of special purpose, additional information, the multi-criteria approach.

Вступ. Вдосконалення науково-методичного апарату підтримки прийняття рішень є нагальною потребою часу та запорукою успішного виконання завдань суспільно-економічного розвитку України.

В багатьох сферах існуючий методичний апарат, який використовується при формуванні управлінських рішень, не є таким, що повністю відповідає сучасним вимогам. Найбільше це проявляється у прикладних галузях, де існують об'єктивні екстремальні умови або вимоги до якості рішень, що приймаються. Так, недосконалість методів формування рішень щодо оновлення складу парків транспортних засобів спеціального призначення часто призводить до низки негативних результатів [1, 2]: погіршення якості виконання транспортної роботи, не повне використання ресурсу техніки, диспропорції оновлення.

При цьому значна кількість досліджень щодо методичних основ формування оптимального складу парків транспортних засобів [2– 5] спрямована, в основному, на намагання зменшення недоліків вже існуючого науково-методичного апарату без виявлення причин їх виникнення.

Це не є системним шляхом розв'язання проблематики формування управлінських рішень щодо складних транспортних комплексів, до яких відносяться парки транспортних засобів спеціального призначення. Тому, метою даної статті є представлення результатів особистих досліджень автора щодо врахування додаткової інформації при проведенні багатокритеріальної оптимізації складу парку транспортних засобів спеціального призначення.

Основна частина. У загальному вигляді задачу визначення складу парку техніки можна представити сукупністю двох основних елементів

$$\langle \Omega_x, I \rangle, \quad (1)$$

де Ω_x – це множина допустимих варіантів складу парку \bar{x} – n -мірного вектору кількості зразків техніки з можливих m -типів, які задаються множиною $\{a_j\}$, $j=1..m$, кількісних значень техніко-економічних характеристик, які визначають експлуатаційні властивості (тягово-швидкісні, властивості, прохідність, потрібні експлуатаційні витрати, паливна економічність, маневреність та інші); I – це додаткова інформація, яка виражає переваги особи, що приймає рішення про вибір того чи іншого варіанту складу парку.

У більшості випадків додаткова інформація I не є зручною для формалізації і складається з множини переваг (переваг) одного варіанту складу парку над іншим ($\bar{x}_i \mathbf{f} \bar{x}_j$).

Тоді, завдання вибору полягає у визначенні такої множини найкращих (оптимальних) варіантів $\{\bar{x}^*\}$, які є найкращими на множині Ω_x з урахуванням додаткової інформації I .

Загальна процедура рішення цього завдання полягає у визначенні множини оптимальних по Парето варіантів складу парку Ω_x^{nap} ($\Omega_x^{nap} \subset \Omega_x$) та її звуженні на основі використання додаткової інформації про переваги (перевагах) I особи, яка приймає рішення: $\Omega_x^{nap}(I) \subset \Omega_x^{nap} \subset \Omega_x$ [6, 7]. Використання додаткової інформації є важливим чинником отримання практично значущого результату, тому що відповідно до принципу Еджворта-Парето [8] без додаткової інформації неможливо виділити компромісні варіанти з множини Парето Ω_x^{nap} .

У рамках домінуючого зараз редуційного підходу до вирішення задач формування складу парку транспортних засобів [2– 5] додаткова інформація I представляється у формі часткових критеріїв $f_j(x, a)$,

$j=1, \dots, s$ з визначенням вагових коефіцієнтів важливості k_j , які потрібні для врахування преференцій особи, що приймає рішення. Необхідно зазначити, що існує деяке «свавілля» дослідників при обранні виду залежностей $f_j(x, a)$ та значень k_j , тобто представлення додаткової інформації I у термінах $f_j(x, a)$, k_j .

Така формалізація додаткової інформації I жорстко обмежує подальший шлях рішення завдання (1): або проведенням оптимізації за одним з часткових критеріїв $f_j(x, a)$ при введенні обмежень на значення інших складових вектора $\bar{f} : f_i(x, a) \leq \text{const}$, $i, j=1, \dots, s$; $i \neq j$:

$$\forall \alpha \text{ opt}_{\substack{f_j(x,a) \leq \text{const} \\ x \in \Omega_x}} f_i(x, a) \quad (2)$$

або оптимізацією нового критерію-згортки

$$F(x, a) = \sum_{i=1}^s k_i f_i(x, a)$$

на множині допустимих значень $\bar{x} - \Omega_x$:

$$\forall \alpha \text{ opt}_{x \in \Omega_x} F(x, a) \quad (3)$$

Така формалізація I має принципові недоліки: елементи множини рішень $\{\bar{x}\}$, які отримуються в результаті оптимізації (2), (3) жорстко залежать від обраного базису врахування додаткової інформації – часткових критеріїв $f_j(x, a)$ та вагових коефіцієнтів k_j . Ця залежність призводить до порушення умови $\{\bar{x}\} \subset \Omega_x^{\text{nap}}$, тобто не всі рішення з множини $\{\bar{x}\}$ є оптимальними по Парето для умов задачі (1), що, у свою чергу, вказує на методичну причину зазначених вище недоліків: неадекватне представлення та врахування додаткової інформації I у формі співвідношення часткових критеріїв (2, 3) призводить до вибору варіантів які не є найкращими відносно очікувань особи, яка відповідає за рішення. Саме обрання невідповідних варіантів складу парку призводить до відмічених вище негативних результатів їх реалізації.

Для подолання такого стану речей при формуванні складу парків транспортних засобів пропонується змінити методичну основу процедури вибору варіантів – реалізувати багатокритеріальну оптимізацію \bar{x} на множині Ω_x , де додаткову інформацію I представити у вигляді преференцій у кількісній формі особи, що приймає рішення, щодо характеристик типів техніки a_i з якої формується парк.

Ця форма врахування додаткової інформації базується на відомій лінії поведінки людини, коли низькі показники за одним критерієм компенсуються високими показниками за іншим (або одночасно за декількома іншими критеріями). Її пропонується представити таким чином:

нехай i та j – два різних номери характеристик типів техніки. Тоді, твердження, що характеристика a_i буде важливіше ніж характеристика a_j буде справедливим, якщо буде виконуватися умова

$$a_i + \omega_i \mathbf{f} a_j - \omega_j \quad (4)$$

при $\omega_i, \omega_j > 0$.

Значення ω_i, ω_j вказують на те, скільки здатна втратити особа, яка приймає рішення, властивістю техніки a_j для того, щоб отримати вигравш за властивістю a_i . У цьому визначені відношення переваги відображає суб'єктивний характер розуміння важливості того чи іншого показника (характеристики) і вказує на безпосередній зв'язок відносної важливості з особою, що приймає рішення.

Зазначена форма представлення інформації дозволяє врахувати як суб'єктивну, так і об'єктивну додаткову інформацію. У галузі управління парками транспортних засобів (включно з транспортними засобами спеціального призначення) суб'єктивна додаткова інформація – це власний досвід фахівців-керівників щодо відносної важливості кожної властивості a_i та варіантів складу парку \bar{x} . Об'єктивна інформація – це оцінка результатів попередніх рішень щодо змін складу парку техніки, визначення преференцій (переваг) щодо результатів попередніх рішень.

Перевага запропонованого підходу до представлення додаткової інформації у термінах характеристик типів полягає у тому, що він забезпечує виконання умови (на відміну від підходів (2, 3)

$$\{\hat{x}\} \subset \Omega_x^{\text{nap}} \subset \Omega_x,$$

де $\{\hat{x}\}$ – множина розв'язків задачі (1) оптимальна відносно векторного критерію $\hat{f} = [\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_s]$, компоненти якого визначаються з використанням додаткової інформації про відносну важливість характеристик:

$$\begin{cases} \hat{a}_i = a_i \omega_j + a_j \omega_i, \\ \hat{a}_p = a_p, \\ p = 1, 2, \dots, s; \quad i \neq j; \quad i \neq p. \end{cases} \quad (5)$$

Ця властивість множини $\{\hat{x}\}$ є наслідком інваріантності Парето-оптимальної множини відносно суворо зростаючого перетворення критеріїв [8,9]: множина Парето не змінюється при множенні компонент векторного критерію на будь-яке позитивне число та додаванні до компонент векторного критерію будь-якого позитивного числа. Тому, множина $\{\hat{x}\}$, яка отримується у результаті оптимізації критерію $\hat{f} = [\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_s]$, буде включенням множини Ω_x^{nap} та множини Ω_x .

Слід зазначити універсальність даної особливості множини $\{\hat{x}\}$ – вона не передбачає введення будь-яких вимог до властивостей множини Ω_x або векторного критерію f . Тобто запропоновану методику врахування додаткової інформації можливо застосувати у випадку як кінцевої, так і безмежної кількості елементів в Ω_x , а складові f можуть не мати властивостей диференційованості та безперервності. Відповідно до сутності запропонованої методики, обмеження існують тільки з боку поведінки особи, яка приймає рішення – вона повинна надавати реальні власні преференції (переваги) у форматі (4).

Крім зазначеної властивості запропонованої методики врахування додаткової інформації, необхідно відмітити надзвичайну гнучкість перетворення компонент \bar{f} : «нова» характеристика типу отримується зі «старої» у результаті заміни її на лінійну комбінацію попередніх значень a_i , a_j з позитивними коефіцієнтами ω_i, ω_j . Усі інші складові \bar{f} залишатимуться незмінними. При цьому не змінюються основні властивості \bar{f} відносно \bar{f} .

Головною практичною перевагою реалізації запропонованої методики є можливість значного звуження множини Парето Ω_x^{nap} для отримання конкретного результату. Значення показника

$$\theta_{ij} = \frac{\omega_j}{\omega_i + \omega_j}, \quad 0 < \theta_{ij} < 1,$$

вказує на ступінь різниці векторів \hat{f} та \bar{f} : його збільшення відповідає зростанню відмінності векторів \bar{f} і \hat{f} , зменшення, навпаки, вказує на близькість значень компонент векторів.

Якщо θ_{ij} є близьким до одиниці, то це означає, що особа, яка приймає рішення, згодна за відносно невелику надбавку за більш важливою i -ю характеристикою, заплатити значно більшою втратою за j -ю характеристикою. Такій стан речей відповідає ситуації, коли i -я характеристика має відносно високу ступінь важливості у порівнянні зі j -ї характеристикою.

У випадку, коли $\theta_{ij} \approx 0$, особа, яка приймає рішення, згодна піти на втрати за менш важливою характеристикою a_j лише за умови отримання значної надбавки за більш важливою a_i . Це відповідає ситуації, коли ступінь важливості i -ї характеристики відносно невеликий.

Якщо $\theta_{ij} \approx \frac{1}{2}$, то особа, яка приймає рішення здатна на отримання надбавки по більш важливій характеристиці за рахунок втрати за менш важливою за умови, що величина втрати повністю співпадає з величиною надбавки.

Висновки

1. Методичне обмеження результативності домінуючого редуційного підходу щодо формування складу парків транспортних засобів полягає у неадекватності процедури врахування додаткової інформації при визначенні множини кращих варіантів складу.

2. Системний напрям вдосконалення науково-методичного апарату підтримки прийняття рішень щодо складу парків транспортних засобів полягає у впровадженні багатокритеріального підходу з використанням методики представлення додаткової інформації у формі відношень відносної важливості окремих характеристик типів транспортних засобів, з яких формується склад парку.

3. Перевагами застосування запропонованої методики на відміну від традиційних є: отримання множини кінцевих компромісних рішень у межах множини Парето, можливість значного звуження потужності множини кінцевих компромісних рішень відносно потужності множини оптимальних по Парето варіантів складу парку.

1. Лантвойт О.Б. Підсумки діяльності органів автотехнічного забезпечення Державної прикордонної служби України за період 2000– 2008 років : доповідь [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <ftp://10.241.2.4/Users/UoIt>.
2. Подолян О.Ю. Вибір показників якості транспортних засобів, значимих для ефективної оперативно-службової діяльності підрозділів органів охорони державного кордону / О.Ю. Подолян // Освітньо-наукове забезпечення діяльності правоохоронних органів і військових формувань України. Серія: військово-технічні науки : матеріали Всеукр. науково-практ. конф., (Хмельницький, 20 листопада 2009 року) / НАДПСУ. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2009. – С. 94– 96.
3. Коломийчук С.В. Разработка методики выборки автомобилей многоцелевого назначения для обеспечения оперативно-служебной деятельности ПВУ с учетом их ремонтпригодности : дисс. ... канд. техн. наук : 20.02.14 / С. В. Коломийчук. – Хмельницкий : АПВУ, 1998. – 236 с.
4. Осташевский С.А. Методика выбора грузовых и специализированных автомобилей для комплектования подразделений материального обеспечения Пограничных войск Украины : дисс. ... канд. техн. наук : 20.02.14 / С. А. Осташевский. – Хмельницкий : АПВУ, 2002. – 196 с.
5. Зінчик А.Г. Розробка методичного апарату формування складу парку автомобільних транспортних засобів органів логістики ЗСУ : дис. ... канд. техн. наук : 20.02.14 / А.Г. Зінчик. – Хмельницький, 2010. – 138 с.
6. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / Штойер Р.; [пер. с англ.]. – М. : Радио и связь, 1992. – 504 с. : ил.
7. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Кини Р. Л., Райфа Х. – М. : Радио и связь, 1981.
8. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / Ногин В.Д. – [2– е изд.]. – М. : Физматлит, 2005.
9. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М. : Наука, 1982.

Надійшла 23.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Лисий М.І.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ ОТРИМАНИХ В УДОСКОНАЛЕНОМУ ПРОЦЕСІ СКЛАДАННЯ ЗАГОТОВОК ВЕРХУ ВЗУТТЯ

В статті наводиться експериментальна перевірка якості виробу отриманого у удосконаленому процесі складання заготовок верху взуття, на основі дослідження міцності отриманого ниткового шва.

Ключові слова: Заготовки верху взуття, міцність шва, палета.

The article provides experimental verification of a product obtained in the process of assembling shoe uppers, based on the research strength of the resulting spinning seam.

Keywords: blanks uppers, seam strength, palettes.

Вступ

При автоматизованому виробництві взуття, у сучасній легкій промисловості, виникає багато складних питань пов'язаних з вибором необхідного технологічного процесу виготовлення заготовки верху взуття (ЗВВ) за умов частих змін моделей та розмірів готової продукції згідно з вимогами торгівлі.

Загально відомо [1], що виготовлення ЗВВ за допомогою традиційного скріплення деталей на швейних машинах можливо реалізувати за допомогою двох способів: послідовного, коли кожна наступна деталь почергово приєднується до попередніх і паралельно-послідовного, під час якого одночасно зшиваються усі деталі заготовки.

Очевидно, що перша схема, як більш універсальна, передбачає ручне виконання усіх допоміжних операцій і тому є менш продуктивною, що суттєво збільшує собівартість виробництва. На відміну від неї друга, більш продуктивна, і крім того дозволяє стабільно випускати вироби підвищеної якості за рахунок локалізації людського фактора. Хоча слід визнати, що ці переваги стають відчутними лише при масовому виробництві. Поряд з цим, застосування другої схеми обов'язково потребує наявності автоматизованого обладнання, оснащеного спеціальною оснасткою (палетами), що робить її використання не ефективним при випуску малих серій і відповідно мало прийнятним для малих підприємств. У той же час, на сучасному етапі розвитку взуттєвої промисловості саме малі підприємства стали найбільш розповсюдженими організаційними структурами в галузі. Це пояснюється тим, що цей тип виробництва є більш динамічним з точки зору зміни асортименту і має ряд інших маркетингових переваг.

Послідовність удосконаленого процесу складання ЗВВ наступна: всі деталі верху і підкладки фіксуються в універсальній палеті та потім берці разом з підкладкою зістрачуються із союзою та підкладкою.

Аналіз досліджень та публікацій

Проблема підвищення якості взуття, як одного з найважливіших чинників, що визначають його конкурентоспроможність на внутрішньому та зовнішньому ринках, є надзвичайно гострою. Але структура перебудови та сучасна трансформація виробництва взуття привели до того, що на зміну потужним виробництвам виникли малі підприємства з різною формою власності, технічне оснащення яких не дозволяє виконати вимоги стандартів щодо випробувань дослідних зразків взуття [2].

Відомо [2], що невідповідність виробів стандартами визначається трьома показниками:

- лінійні розміри;
- міцність кріплення підошви;
- міцність кріплення деталей верху взуття.

Більш детально зупинимось саме на міцності кріплення деталей верху взуття, тобто на відповідності ниткових швів нормативним вимогам. Ця задача вже не одноразово досліджувалась провідними науковцями [3-7], тому обґрунтовувати її необхідність не потрібно.

Формулювання цілей статті

Задачею даної роботи є порівняння міцності отриманого внаслідок удосконалення процесу автоматизованого складання ЗВВ ниткового шва із нормативним значенням [8].

Виклад основного матеріалу досліджень

Відомо [9], що теоретично розривне навантаження проколотого матеріалу визначається за наступною формулою:

$$P_1 = P \cdot (1 - a \cdot d \cdot n), \quad (1)$$

- де P – розривне навантаження не проколотого матеріалу;
 a – коефіцієнт ослаблення шкіри, для опойка – 0,2-0,3; шевро – 0,25-0,35; виростка – 0,35-0,4 [6];
 n – кількість проколів на 1 см строчки;
 d – діаметр голки.

Експериментальні дослідження проведені на шкірі верху взуття (півшкурка), бахтармянний спилка та вінілштучшкірі отриманій на ОАО «Взутекс» таких, які мають найбільше поширення у взуттєвій промисловості [10].

Експеримент є одно факторним, єдиний фактор – кількість проколів голки на 1 см строчки.

Планування експерименту та експериментальні дослідження проводились за допомогою умовно безкоштовної програми “OptimizationModel&PlanningExperiment-02.041” [11]. Для експерименту підготовлено три групи зразків з різних матеріалів по шістнадцять зразків в кожній. Експеримент проведено на зразках розміром 45x25 мм згідно ГОСТ 9290-76 «Обувь. Метод определения прочности ниточных швов соединения деталей верха» [12]. Дослідження проводяться на розривній машині РТ-250М (рис. 1), для покращення роботи якої в робочий механізм вмонтована тензобалка, підключена через АЦП до ПК. Сигнал отриманий при згині тензобалки подається на комп’ютер, де він буде оброблятися за допомогою програми Labview 8.5 (рис. 2). Зразки зшиті посередині, голкою № 100 (0,01 мм) з овальним загостренням на машині R718-01 фірми Siruba, ниткою 44-ЛХ.



Рис. 1. Модифікована розривна машина РТ-250М.

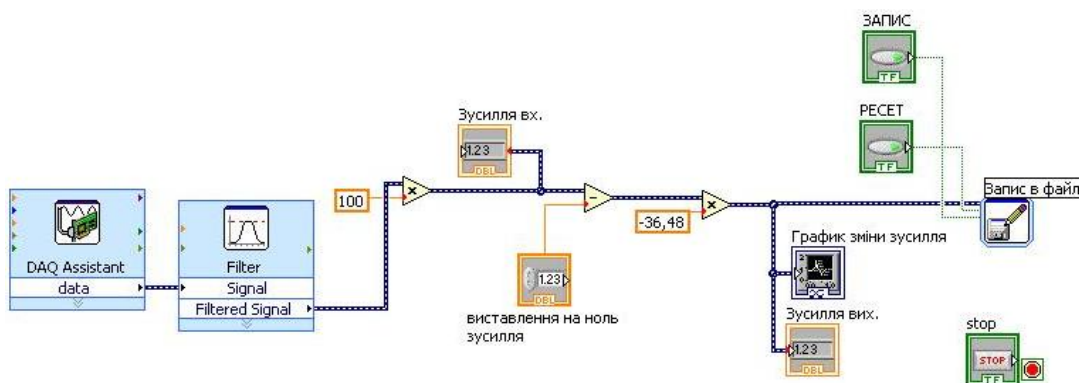


Рис. 2. Блок-діаграма обробки сигналу з АЦП в програмі Labview 8.5

Результати досліджень наведені в таблицях.

Таблиця 1

Чисельні значення міцності для півшкурка з матеріалу шкіра ВРХ ДСТУ 2726-94 при однорядному шві

Довжина стібка, мм	Міцність шва ГОСТ 21463-87, Н/см	Експериментальні значення міцності, Н/см	Теоретичні розрахунки міцності, Н/см	Експериментальні значення міцності при попередній фіксації деталей, Н/см
1,5	90	116,7	93,6	120
2	90	120	104,832	134,4
3	90	83,3	71,37	91,5
4	90	66,7	57,174	73,3

Чисельні значення міцності для матеріалу бахтармянний спилок ГОСТ 1838-83 при однорядному шві

Довжина стібка, мм	Міцність шва ГОСТ 21463-87, Н/см	Експериментальні значення міцності, Н/см	Теоретичні розрахунки міцності, Н/см	Експериментальні значення міцності при попередній фіксації деталей, Н/см
1,5	75	70,1	57,252	73,4
2	75	80	66,3	85
3	75	99,8	91,728	117,6
4	75	77,4	68,8	88,2

Чисельні значення міцності для матеріалу штучна шкіра (вінілштучшкіра) ТУ 17-21-360-85 при однорядному шві

Довжина стібка, мм	Міцність шва ГОСТ 21463-87, Н/см	Експериментальні значення міцності, Н/см	Теоретичні розрахунки міцності, Н/см	Експериментальні значення міцності при попередній фіксації деталей, Н/см
1,5	80	75,6	61,152	78,4
2	80	84,3	68,324	87,6
3	80	87,8	69,75	89,43
4	80	77,1	60,863	78,03

Графічна інтерпретація результатів досліджень наведена нижче на рис. 3-5.

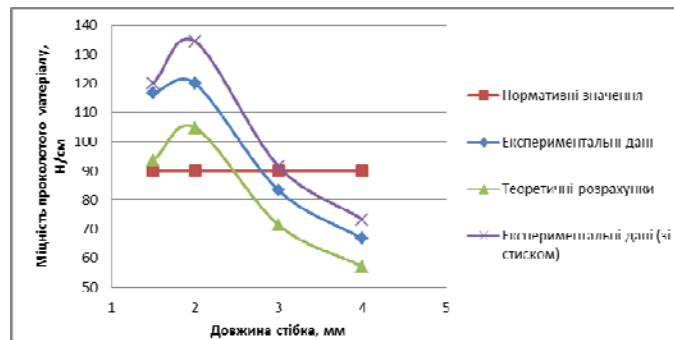


Рис. 3. Графік залежності міцності проколотого матеріалу Р від довжини стібка для півшкурка зі шкіри ВРХ

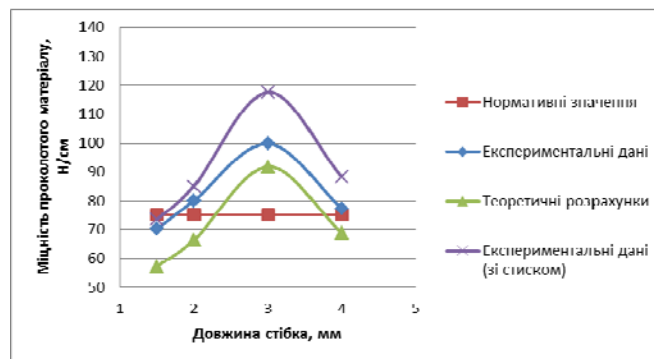


Рис. 4. Графік залежності міцності проколотого матеріалу Р від довжини стібка для матеріалу бахтармянний спилок

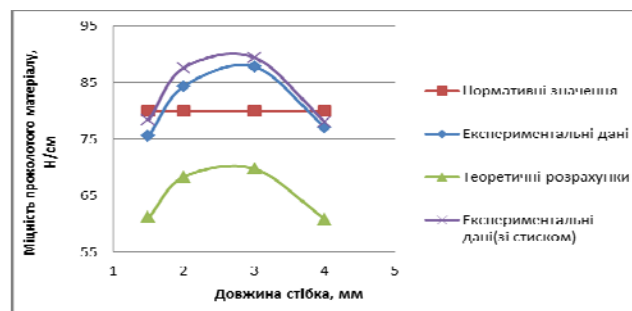


Рис. 5. Графік залежності міцності проколотого матеріалу Р від довжини стібка для матеріалу штучна шкіра (вінілштучшкіра)

На графіках 3-5 приведено порівняння результатів експериментальних досліджень міцності однорядного шва для попередньо зафіксованого матеріалу в порівнянні із нормативними значеннями [13], розрахунковими значеннями та зразками виготовленими звичайним способом. Результати показують, що в порівнянні зі зразками виготовленими звичайним способом міцність підвищилась на 10 % для оптимальних довжин стібка. При збільшенні довжини стібка знижувалась міцність шва і розрив зразків відбувався по нитковому з'єднанню.

Були проведені досліді для двохрядних швів, з довжиною стібка 2мм.

Для півшкурка ВРХ отримали значення $P_{екс} = 133,36 \text{ H/см}$, – нормативне $P_{норм} = 115 \text{ H/см}$.

Для бахтармяного спилку $P_{екс} = 103,33 \text{ H/см}$, при нормативному $P_{норм} = 85 \text{ H/см}$.

Для штучної шкіри $P_{екс} = 98 \text{ H/см}$, $P_{норм} = 90 \text{ H/см}$.

Для дворядних швів міцність підвищилась на 8-13 % в порівнянні з нормативними значеннями [13].

Висновки

Проведена оцінка якості виробу на основі дослідження міцності шва, отриманого внаслідок удосконаленого процесу складання. Результати досліджень показали, що міцність однорядного шва збільшилась приблизно на 10 % для всіх типів матеріалу, для оптимальної довжини стібка, дворядного – в межах 8-13 %.

В свою чергу це призведе до підвищення якості всього виробу в цілому та до збільшення часу його можливої експлуатації.

Література

1. Тонковид Л.А. Автоматизация сборочных процессов в обувном производстве / Тонковид Л.А. – К. : Техніка, 1984. – 248 с.
2. Гриневич Т.М. Аналіз результатів випробування взуття з метою сертифікації та шляхи забезпечення її відповідності нормативним вимогам / Гриневич Т.М., Стоянов І.С // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – ч. 1. № 5. – С. 52-57.
3. Гриневич Т.М. Прогнозування міцності ниткових швів при скріпленні деталей верху взуття / Гриневич Т.М., Стоянов І.С // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – № 2. – ч. 1. Т. 1. – С. 233-238.
4. Гриневич Т.М. Алгоритм прогнозування відповідності ниткового скріплення деталей верху взуття / Гриневич Т.М., Стоянов І.С // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2005. – № 2. – ч. 1. Т. 2. – С. 80– 83.
5. Т.М. Гриневич Експериментальні дослідження процесу послаблення верху взуття в процесі їх стоншення / Гриневич Т.М., Стоянов І.С // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – № 5. – С. 173– 176.
6. Гриневич Т.М. Експериментальні дослідження процесу послаблення верху взуття в результаті проколу голкою / Гриневич Т.М., Стоянов І.С // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 3. – С. 255– 259.
7. Горбань Г.В. Дослідження впливу жорсткості деталей верху взуття на їх послаблення проколами голки / Горбань Г.В., Стоянов І.С // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 237– 240.
8. Справочник обувщика / под общей ред. Д.С. Мурванидзе. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М. : Легкая индустрия, 1971. – Т.1. – 390 с.
9. Цветков В.М. Ослабление хромовых кожевенных материалов строчкой / Цветков В.М., Прилуцкая Н.Л // Сб. трудов ЦНИИКП. – М. – Л. : Гизлегпром. – 1935. – № 2.
10. Шкіра завжди актуальна – режим доступу до статті: <http://megasite.in.ua/110794-shkira-zavzhdi-aktualna.html>
11. Програма для планування експериментальних досліджень “OptimizationModel&PlanningExperiment-02.041” – Режим доступу: <http://mdop.sourceforge.net/>
12. Обувь. Метод определения прочности ниточных швов соединения деталей верха : ГОСТ 9290-76. – [Чинний від 1977-07-01, снято ограничение срока действия]. – М. : ИПК издательство стандартов, 1976. – 11 с.
13. Обувь. Нормы прочности : ГОСТ 21463-87. – [Чинний від 1989-01-01]. – М. : ИПК издательство стандартов, 1987. – 12 с.

Надійшла 21.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Параска Г.Б.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО БІОПАЛИВА З АБСОЛЮТОВАНИМ ЕТАНОЛОМ

Запропонований і розроблений метод моделювання та оптимізації процесу отримання автомобільного біопалива з абсолюттованим етанолом, який відрізняється від відомих конструктивними особливостями перемішування та побудовою системи оптимізації, що використовує матричний апарат аналізу та обробки поступаючої вхідної інформації.

Ключові слова: моделювання, оптимізація, отримання автомобільного біопалива, абсолюттований етанол.

Proposed and developed a system for modeling and optimization of the process of obtaining automobile biofuel introduction of absolute ethanol, which is different from the known with the design of mixing the feedstock and building the system optimization, which uses a matrix apparatus of analysis and processing of incoming input information.

Keywords: simulation, optimization, getting car biofuel, absolutized ethanol.

Вступ

Моделювання та оптимізація процесу отримання автомобільного біопалива з абсолюттованим етанолом на сьогоднішній день мають достатньо великі можливості розвитку, а тому тема публікації є актуальною. У навчальному посібнику [1], розглянута одна із проблем світової спільноти з позбавлення економіки надмірної залежності від нафти та пального, виробленого на її основі. На думку американських експертів, це можна зробити за рахунок широкомасштабного впровадження нових технологій та альтернативних видів палива, зокрема алкогolemістких речовин, вироблених із сільськогосподарських культур, та біопалива. Тут також розкриті техніко-технологічні особливості виробництва автомобільного біопалива з абсолюттованим етанолом та енергетична оцінка ефективності його використання. У джерелі [2] розглянуті питання навчально-методичного плану виробництва та використання автомобільного біопалива з абсолюттованим етанолом. Джерело [3] присвячено розробці та аналізу теоретичного підґрунтя процесів перемішування у хімічній промисловості. Один з двох важливих результатів цієї публікації опирається на матричні методи побудови математичних моделей у різних галузях народного господарства [4]. Навчальний посібник [5] відображає підходи, що ґрунтуються на використанні машин та апаратів з імпульсними енергетичними діями на оброблювану сировину, а конкретно перемішування в технологічному процесі виробництва біопалива достатньо обширно представлено у періодичному виданні [6].

Мета публікації

Запропонувати і розробити метод моделювання та оптимізації процесу отримання автомобільного біопалива з абсолюттованим етанолом, процесу перемішування за допомогою кавітаційно-кумулятивних гідрострумінних пристроїв.

Основний результат

За основу наукових пріоритетів більшість розвинутих країн шукають шляхи використання енергоресурсів поновлюваної енергії, накопиченої живою речовиною завдяки фотосинтезу, та розробку альтернативних видів енергії, в тому числі відновлювальних. Сьогодні нові технології використання алкогolemістких видів пального дійсно потребують додаткового дослідження, у тому числі з точки зору економічної ефективності, оптимальних технологій виробництва та вигідного транспортування. Для збереження природних ресурсів та поліпшення екологічного стану наукою пропонується замкнутий цикл обміну споживання і відтворення енергії [1].

Класичний технологічний процес виробництва автомобільного біопалива з абсолюттованим етанолом є періодичним. Він передбачає використання для змішування потужного насосного обладнання, за допомогою якого відбувається чотирикратне компаундування всього об'єму виробленого біопалива. Як наслідок, при великих об'ємах виробництва споживається значна кількість електричної енергії, а сам процес компаундування має тривалий характер [2].

Кавітаційно-кумулятивна дія дозволяє інтенсифікувати багато технологічних процесів, які здійснюються в рідинному середовищі, і насамперед, процеси масообміну, за рахунок утворення при лопанні кавітаційних бульбашок, кумулятивних мікроструминок і перетворення останніх на мікрохвилі дуже великої питомої інтенсивності. Це дозволяє отримувати високу однорідність сумішей рідин, які змішуються. Тому в процесах емульгування, гомогенізації, надтонкого перемішування, особливо для рідин, які взаємно не змішуються, використання гідродинамічного кавітаційного впливу відкриває широкі перспективи [1].

Саме, за рахунок сказаного підвищимо ефективність гідрострумінних кавітаційно-кумулятивних пристроїв на основі більш глибокого дослідження гідродинамічних процесів, пов'язаних з формуванням струменів високого тиску та їх течій.

Методика досягнення основного результату за рахунок перемішування який вважається якісним тоді, коли найменші частинки речовин, що компаундують, рівномірно розподіляться по всьому об'єму а рідина стає однорідною емульсією. В нашому випадку, якісними показниками компаундування є показник

густини біопалива, що виробляється, а також її фізична стабільність. Для якісного проведення компаундування бензину з абсолютованим етанолом пропонується використовувати технологічне обладнання, в основі якого закладено гідрострумінний кавітаційний пристрій, робота якого виконується наступним чином. Основний потік речовини нагнітається насосом під великим тиском, у сопло гідрострумінного кавітаційного пристрою. Далі, на великій швидкості рідина потрапляє у вакуумну камеру, де завдяки виходу струї з сопла на високій швидкості утворюється вакуум. За рахунок вакууму з'являється можливість у основний потік речовини, у нашому випадку, це автомобільний бензин, додати чітко дозовану кількість абсолютованого етилового спирту та стабілізатори гомогенності суміші. Цей другий потік інжектуються за рахунок вакууму, а об'ємна кількість додатків контролюється ротаметрами, через які проходить інжектований потік вхідної суміші. Якщо прийняти Q_1 за витрату основного потоку – автомобільний бензин, який нагнітається насосом під великим тиском в сопло гідрострумінного кавітаційного пристрою, та Q_2 прийняти за кількість інжектowanego потоку речовин-додатків, то, звичайно, загальна кількість компаундованої рідини, що проходить скрізь сумішеву камеру буде дорівнювати [3] $Q_o = Q_1 + Q_2$.

Співвідношення подачі гідрострумінного кавітаційного пристрою до кількості компаундованої рідини буде відображати коефіцієнт інжектowanego потоку:

$$\alpha = Q_o / Q_1. \quad (1)$$

Співвідношення висоти підйому рідини, що перекачується H_o до робочого напору H_1 є коефіцієнт напору гідрострумінного кавітаційного пристрою β :

$$\beta = H_o / H_1. \quad (2)$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) гідрострумінного кавітаційного пристрою η дорівнюватиме:

$$\eta = N_{\Pi} / N_3 = Q_o H_o / Q_1 H_1, \quad (3)$$

де $N_{\Pi} = Q_o H_o \gamma$ – корисна потужність гідрострумінного кавітаційного пристрою; $N_3 = Q_1 H_1 \gamma$ – витрачена потужність.

Витрату робочої рідини, яку потрібно подати до сопла гідрострумінного кавітаційного пристрою, визначимо за формулою:

$$Q_1 = Q_o H_o / \eta (H_1 - H_o). \quad (4)$$

Розрахунок гідрострумінного кавітаційного пристрою при заданих (Q_1, Q_2) , (H_o, H_1) зведемо до знаходження оптимальних розмірів сопла, камери вакууму, камери компаундування, дифузора.

На рис. 1 наведені основні конструктивні елементи гідрострумінного кавітаційного пристрою.

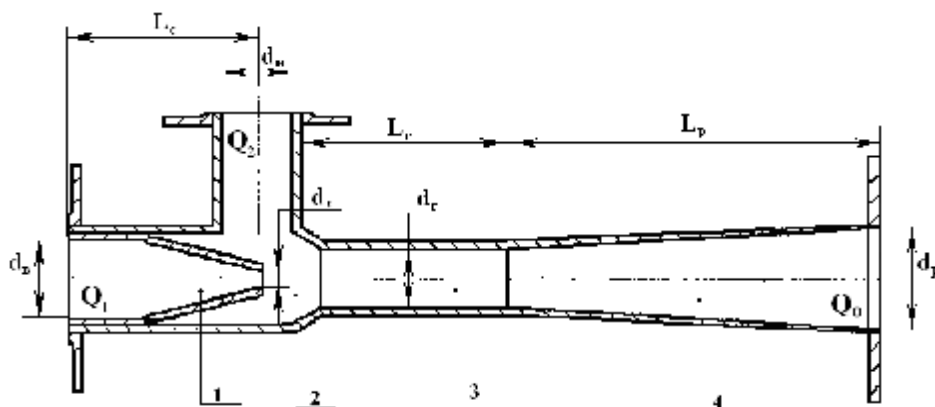


Рис. 1. Основні конструктивні елементи гідрострумінного кавітаційного пристрою

Гідрострумінний кавітаційний пристрій – це вузол, що включає наступні основні елементи: 1 – сопло, 2 – вакуумна камера, 3 – камера компаундування, 4 – дифузор.

У камері компаундування, основний потік речовини та потік, що інжектуються змішуються у турбулентному режимі. Швидкість руху рідин, що компаундуються, зростає, виникає турбулентний режим, зумовлений критичним числом Рейнольдса [4], яке описується залежністю

$$Re = VR / \nu, \quad (5)$$

де V – швидкість рідини, м/с; R – гідравлічний радіус, м; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с. Значення числа, при якому ламінарний режим переходить в турбулентний, носить назву критичного числа Рейнольдса Re_{kp} . Якщо фактичне значення числа $Re \geq Re_{kp}$, – режим турбулентний, коли $Re < Re_{kp}$, режим ламінарний.

Потім, коли компаундований потік рідини проходить скрізь дифузор – відбувається перехід кінетичної енергії в потенційну. У дифузорі відбувається розрив суцільності потоку крапельної рідини під дією напруження розсіювання, що виникає в ній при зниженні тиску та збільшенні місцевих швидкостей потоку. При розриві суцільності у середовищі крапельної рідини утворюються порожнини – кавітаційні бульбашки, які заповнені паром, газом чи їх суміші. Цей процес обумовлений особливою зміною характеристик поля швидкостей та тиску. Кавітаційні бульбашки періодично виникають в тих локальних місцях, де тиск в рідині p стає нижчим від деякого критичного $p_{кр}$ [5]:

$$p_{кр} = p_n - 4\sigma/3\sqrt{3} R_0 \sqrt{2\sigma/R_0 (p_0 - p_n + 2\sigma/R)}, \quad (6)$$

де p_n – тиск насиченої пари рідини, p_0 – початковий тиск у середині бульбашки, σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини, R_0 , R – початковий та поточний радіус бульбашки.

При лопанні бульбашок виникає явище кавітаційної диспергації. Відбувається розрив молекул бензину та абсолютowanego спирту за допомогою мікробухів, що приводить до якісного проведення компаундування, поліпшення фізико-хімічних характеристик майбутнього автомобільного біопалива, а також значно збільшує швидкість гомогенізації. В результаті цього отримуємо високоякісне автомобільне біопаливо, яке в процесі зберігання не розшаровується на початкові складові компоненти. Існує галузевий стандарт ГСТУ 320.00149943.015-2000, який передбачає виробництво автомобільних бензинів моторних сумішевих з базових компонентів та абсолютowanego етилового спирту (біоетанолу). При існуючих методиках змішування цей стандарт передбачає гарантійний термін зберігання бензинів до 3-х місяців від дня їх виготовлення. Використання установки з гідрострумінним кавітаційним пристроєм, дає кращий результат, гарантійний термін зберігання бензинів збільшується до 12-ти місяців від дня їх виготовлення.

Предметом нашого аналітичного дослідження є також процеси, що проходять в середині рідини під час компаундування. Процеси, які відбуваються у вакуумній камері виглядають наближено так: основний потік речовини та потік, що інjektується, змішуються у турбулентному режимі, у середині рідини постійно виникають і розпадаються вихорі місцевого значення, між змішуваними рідинами відбувається масообмін. Структуру турбулентного потоку при компаундуванні бензину та біоетанолу можна представити таким чином: у основний потік речовини інjektується чітко дозована кількість етилового спирту та додатків у встановлених пропорціях. Позначимо основний компонент, абсолютований етиловий спирт (C_2H_5OH) – позначкою (М), допоміжний компонент, інгібітор корозії та стабілізатор (bio Stable) – позначкою (К), бензин звичайний – позначкою (О). Згідно існуючих технічних умов, нормою встановлюємо пропорцію одна частина абсолютowanego етилового спирту на шість частин бензину (1 : 6). Маючи швидкісний рух, вони проходять через певну поперечну площину потоку 1-1 (рис. 2). Якщо у цій площині потоку зафіксувати нерухому точку (S), то через неї будуть проходити молекули бензину та біоетанолу, що матимуть постійний рух. Через це швидкість в точці (S) весь час буде незмінною. Внаслідок цього молекули звичайного бензину (O_1 , O_2) та молекули біоетанолу з додатками (MK_1 і MK_2), рухаючись своїми траєкторіями, потрапляють в точку (S) в момент часу t [6]:

- молекула O_1 , рухаючись по першій траєкторії, потрапляє в точку S в момент часу t_1 і отримує в цій точці миттєву швидкість, яку позначимо через $(U_s)S$;
- молекула O_2 рухаючись по другій траєкторії, потрапляє в точку S в момент часу t_2 і набирає в цій точці миттєву швидкість $(U_s)'S$, відмінну від швидкості $(U_s)S$.

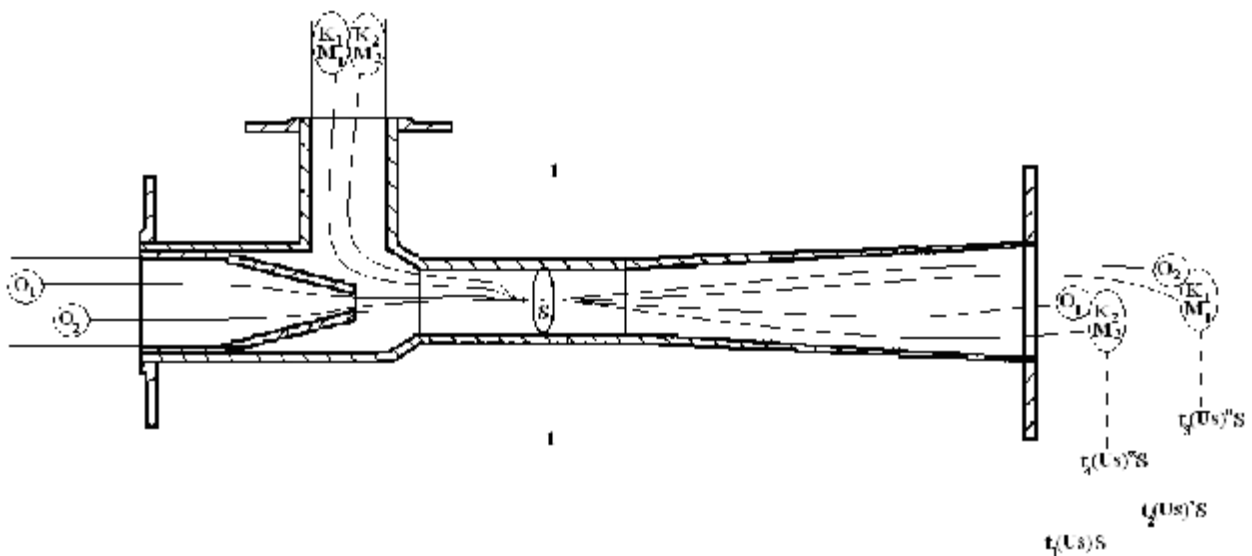


Рис. 2. Траєкторії руху дрібних частинок етанолу та групи каталізаторів при компаундуванні

Аналогічним шляхом молекули біоетанолу з додатками M_1K_1 і M_2K_2 , рухаючись своїми

траєкторіями, проходять через точку S в різні моменти часу t_3 і t_4 , набираючи при цьому, відмінні одна від одної швидкості $(Us)''S$ і $(Us)'''S$. Для оптимального компаундування бензину звичайного (O) з абсолютотаним етиловим спиртом та додатками (МК) необхідно досягти таких умов, при яких траєкторії руху молекул (O) і молекул (МК), відповідно їх швидкості в деякий період часу (t), співпадут між собою в певній точці, у встановленому співвідношенні $O_1 = M_1K_1$, $O_2 = M_2K_2$, відповідно $t_1 (Us)S = t_2 (Us)''S$, $t_3 (Us)''S = t_4 (Us)'''S$.

Наведений алгоритм показує рух молекул рідини при турбулентному перемішуванні під тиском. Такий результат має бути досягнутий між всіма молекулами в потоці змішуваної рідини. Виконання цієї умови буде залежати від швидкості та траєкторії руху молекул (ОМК). Швидкість і траєкторія руху в свою чергу будуть залежати від вихорів місцевого значення, які позначимо індексом k. Кінцевим результатом компаундування має бути повний розподіл молекул O, M, K між собою у встановлених пропорціях.

Результати проведених досліджень можна трактувати так. Для того, щоб представити процес виробництва бензину моторного сумішевого у вигляді ланок формул, готове автомобільне біопаливо позначимо літерою D, вихори місцевого значення, що виникають під час турбулентного руху позначимо, як було зазначено вище, індексом k.

Тепер наведені вище операції що утворюють відповідний наш покроковий оптимізаційний алгоритм представимо так:

- приготування суміші абсолютотаного етилового спирту (M) з інгібітором корозії та стабілізатором (K) буде $M+K$;

- компаундування бензину звичайного (O) у потоці під тиском з сумішшю абсолютотаного етилового спирту та додатками (МК), за рахунок створення вихорів k, запишемо у вигляді ланок формул.

$$D = [O + (M + K)] \times k \quad (7)$$

$$D = [O + (M + K)] \times k = O - \Delta O \quad (8)$$

Тоді, з використанням матричних методів побудови математичних моделей [4] опишемо наші дослідження більш детально, розбивши загальний потік бензину звичайного (O) на 16 складових $O\{O_1; O_2; \dots; O_{16}\}$. Аналогічно розіб'ємо потік суміші абсолютотаного етилового спирту (M) з інгібітором корозії та стабілізатором (K) МК $\{M_1K_1; M_2K_2; M_3K_3; M_4K_4\}$. Подамо до камери компаундування основний потік речовини O, та потік, що інжектуються: групу МК. Тоді, операцію компаундування бензину звичайного O з сумішшю абсолютотаного етилового спирту з додатками МК можемо подати у вигляді матриці

$$\left. \begin{array}{cccc} O_1 & O_2 & O_3 & O_4 \\ O_5 & O_6 & O_7 & O_8 \\ O_9 & O_{10} & O_{11} & O_{12} \\ O_{13} & O_{14} & O_{15} & O_{16} \end{array} \right\} \times \left. \begin{array}{c} M_1K_1 \\ M_2K_2 \\ M_3K_3 \\ M_4K_4 \end{array} \right\} \quad (9)$$

У процесі компаундування кожна складова $O\{O_1; O_2; \dots; O_{16}\}$ має бути захоплена відповідними вихорами місцевого значення, що виникають у потоці бензину під час турбулентного руху $k_1, k_2, k_3, \dots, k_{16}$. Для зручності, всі складові $k_1, k_2, k_3, \dots, k_{16}$ позначимо через вектор X. Тоді, можна записати $k_1\{x\}, k_2\{x\}, k_3\{x\}, \dots, k_{16}\{x\}$. [4]. Після цього, процес захоплення складових потоку бензину O так само запишемо у вигляді матриці

$$\left. \begin{array}{cccc} Ok_1 & Ok_2 & Ok_3 & Ok_4 \\ Ok_5 & Ok_6 & Ok_7 & Ok_8 \\ Ok_9 & Ok_{10} & Ok_{11} & Ok_{12} \\ Ok_{13} & Ok_{14} & Ok_{15} & Ok_{16} \end{array} \right\} \cdot \quad (10)$$

При якісному компаундуванні відбувається масообмін між складовими $\{O_1; O_2; \dots; O_{16}\}$ і $\{M_1K_1; M_2K_2; M_3K_3; M_4K_4\}$.

$$\left. \begin{array}{cccc} O_1 & O_2 & O_3 & O_4 \\ O_5 & O_6 & O_7 & O_8 \\ O_9 & O_{10} & O_{11} & O_{12} \\ O_{13} & O_{14} & O_{15} & O_{16} \end{array} \right\} \times \left. \begin{array}{c} M_1K_1 \\ M_2K_2 \\ M_3K_3 \\ M_4K_4 \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{cccc} OMK_1 & OMK_2 & OMK_3 & OMK_4 \\ OMK_5 & OMK_6 & OMK_7 & OMK_8 \\ OMK_9 & OMK_{10} & OMK_{11} & OMK_{12} \\ OMK_{13} & OMK_{14} & OMK_{15} & OMK_{16} \end{array} \right\} \quad (11)$$

Таким чином, нам удалось знайти оптимальні значення моделі (11). В результаті теоретичних досліджень отримано матричний вираз процесу компаундування за допомогою гідрострумінного кавітаційного пристрою, достовірність якого була визначена шляхом практичних експериментальних досліджень.

Висновок

Запропонована і розроблена система моделювання та оптимізації процесу отримання автомобільного біопалива з абсолютотаним етанолом, процесу перемішування за допомогою кавітаційно-кумулятивних гідрострумінних пристроїв. Головною перевагою запропонованої гідрострумінної технології

є висока продуктивність та якість готової продукції. Система дозволила використати сучасні інформаційні технології моделювання та оптимізації. Основними перевагами запропонованої гідрострумінної технології є:

- 1) висока продуктивність технологічного процесу при незначних енерговитратах;
- 2) технологічна ефективність контрольованого дозування абсолютованого етилового спирту та додатків до біопалива;
- 3) гідродинамічна кавітаційна обробка складових компонентів вихідної сировини за кавітаційно-кумулятивних умов відбувається на досить високих швидкостях на молекулярному рівні.

Складові сировини піддаються комбінованій дії перепадів та імпульсів тиску в процесі кавітаційної диспергації, відбувається розрив молекул за допомогою мікровибухів.

Література

1. Калетник Г. М. Біопаливо: Ефективність його виробництва та споживання в АПК України : [навчальний посібник] / Г. М. Калетник, В. М. Пришляк. – К. : Хай-Тек Прес, 2010. – 312 с.
2. Кустовська А. Д. Альтернативні палива : [навчально-методичний посібник] / А. Д. Кустовська, С. В. Іванов, О. І. Косенко. – К. : НАУ, 2007. – 268 с.
3. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности / З. Штербачек, Н. Тауск. – Л. : Госхимиздат, 1963. – 416 с.
4. Сигорский В. Г. Математический аппарат инженера / В. Г. Сигорский. – К. : Техника, 1997. – 767 с.
5. Промтов М. А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества : [учеб. пособие] / М. А. Промтов. – М. : Машиностроение, 2004. – 136 с.
6. Масло В. Р. Перемішування в технологічному процесі виробництва біодизельного палива / В. Р. Масло // Техніка АПК. – 2006. – № 12. – С. 38 – 40.

Надійшла 18.1.2013 р.
Представляє: д.т.н. Лисогор В.М.

УДК 004.052

О.В. ПОМОРОВА, А.В. ИВАНОВ

Хмельницький національний університет

М.Ю. ЛЯШКЕВИЧ

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федыковича

СИСТЕМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ АНАЛИЗА, МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*В статье представлены результаты исследования процесса управления рисками в контексте неопределенности информации. На примере пяти базовых рисков процесса разработки программного обеспечения построено множество нечетких экспертных правил. Представлена система нечеткого вывода для анализа, мониторинга и оценки рисков при разработке программного обеспечения с использованием пакета **Fuzzy Logic Toolbox** системы **Matlab**. Приведены результаты функционирования системы.*

Ключевые слова: программное обеспечение, анализрисков, неопределенность информации, система нечеткого вывода.

*The paper presents the results of research of the risk management process in the context of uncertainty information. A lot of fuzzy expert rules built on the example of the five basic risks of the software development process. The fuzzy inference system for analysis, monitoring and evaluation of risks in software development using the **Fuzzy Logic Toolbox** of **Matlab** is represented. Given the results of the functioning of the fuzzy inference system.*

Keywords: software, analizriskov, the uncertainty of information, system of fuzzy logic.

Введение

Разработка программного обеспечения (ПО) – это наукоемкая деятельность, которая требует досконального знания предметной области и понимания целей разрабатываемого продукта. Диагноз о наличии кризиса в программной инженерии был поставлен более полувека назад. С тех пор разработано много новых языков программирования, методов, методик, технологий и достигнут значительный прогресс в этой отрасли. Однако сложность и комплексность современных программных продуктов существенно возросли, поэтому качество ПО по-прежнему зависит от знаний разработчиков и опыта их участия в разного рода проектах.

По приблизительным оценкам, затраты на разработку ПО сегодня составляют около 275 миллиардов долларов, 72 % проектов достигают этапа внедрения и только 26 % всех проектов завершаются успешно. Для эффективной деятельности в области индустрии ПО софтверные компании должны разрабатывать, внедрять и сопровождать свои продукты быстро, укладываясь в сроки, с удовлетворительным качеством. Поэтому компании вкладывают значительные средства в модернизацию технологий разработки и средств обеспечения качества ПО[1].

Тем не менее, инциденты, связанные со сбоями в программном обеспечении, не перестают появляться. В декабре 2011 года специалисты NASA успешно исправили ошибку в программном обеспечении бортового вычислительного комплекса движущегося к Марсу космического аппарата с марсоходом "Кьюриосити" на борту. Зонд стартовал с космодрома на мысе Канаверал 26 ноября 2011 года. Через три дня после старта, 29 ноября, при включении датчика звездной ориентации, компьютер аппарата самопроизвольно перезагрузился. Специалисты выяснили, что причиной сбоя была ранее неизвестная конструктивная особенность модуля управления памятью в процессоре компьютера зонда. При некоторых редких стечениях обстоятельств при попытке доступа к быстрой памяти возникали ошибки, которые приводили к некорректному выполнению команд и перезагрузке. Чтобы исключить новые перезагрузки, специалисты изменили систему распределения данных в памяти. Проверки на наземных стендах показали, что сбоев в новой конфигурации не происходит. Новое программное обеспечение было загружено в бортовой компьютер марсохода. После этого аппарат получил возможность использовать датчики солнечной и звездной ориентации в обычном режиме [2].

Удачный исход устранения ошибок на этапе эксплуатации ПО является весьма редким явлением. Обычно такие инциденты приводят к значительным человеческим и экономическим потерям, поэтому в софтверных организациях внедряется ряд мер по обеспечению качества. Одной из таких мер являются мероприятия по выявлению, анализу, мониторингу и устранению рисков при разработке программного обеспечения.

Риск – это вероятность проявления каких-либо неблагоприятных обстоятельств, негативно влияющих на реализацию проекта по разработке программного обеспечения. Например, если при написании программного кода используется новый язык программирования, то риск может заключаться в том, что компилятор этого языка ненадежен или результирующий код не достаточно эффективен. Рисками являются также превышение сроков или стоимости проекта. Уменьшение (разрешение) рисков – важный элемент управления программными проектами.

Ряд моделей процесса создания программного обеспечения уделяют значительное внимание

анализу рисков и требуют точного определения и оценивания рисков [3]. Например, в спиральной модели (рис. 1) каждый виток спирали разбит на четыре сектора, из которых три непосредственно связаны с анализом рисков.

1. *Определение целей* каждой итерации проекта. В этом секторе определяются проектные риски (например, риск превышения сроков или риск превышения стоимости проекта). В зависимости от «проявленных» рисков, могут планироваться альтернативные стратегии разработки ПО.

2. *Оценка и разрешение рисков*. Для каждого определенного проектного риска проводится его детальный анализ. Планируются мероприятия для уменьшения (разрешения) рисков. Например, если существует риск, что системные требования определены неверно, планируется разработать прототип системы.

3. *Разработка и тестирование*. После оценки рисков выбирается модель процесса создания системы. Если доминируют риски, связанные с разработкой интерфейсов, наиболее подходящей будет эволюционная модель разработки ПО с прототипированием. Если основные риски связаны с соответствием системы и спецификации, то, скорее всего, следует применить модель формальных преобразований. Каскадная модель может быть применена в том случае, если основные риски определены как ошибки, которые могут проявиться на этапе сборки системы.

4. *Планирование*. Проект пересматривается и принимается решение о моменте начала следующего витка спирали.

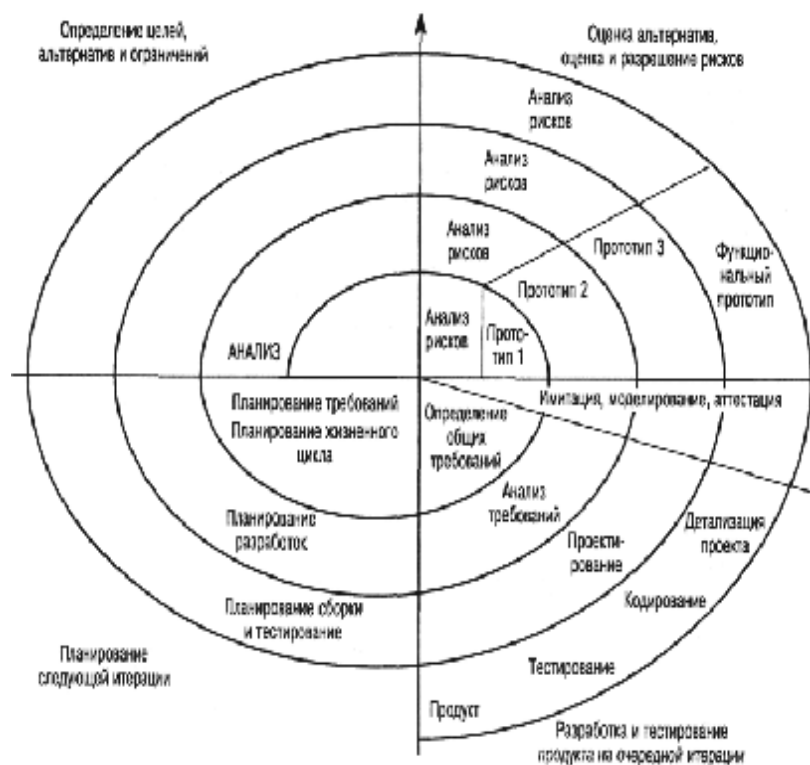


Рис. 1. Спиральная модель создания ПО [3]

Постановка задачи

Анализ, оценка и мониторинг рисков, которые могут повлиять на график работ или на качество создаваемого программного продукта является *актуальной задачей* и важной частью жизненного цикла ПО. Основными факторами, препятствующими успешному решению этой задачи, являются: неточная и неполная информация о ПО, процессе его разработки и предметной области, субъективизм и недостаток опыта специалиста по управлению рисками. Для повышения эффективности принятия решений относительно рисков при разработке ПО и их влияния на качество программных продуктов необходимо разработать систему, которая позволит проводить анализ, мониторинг и оценку рисков в условиях неполноты и неточности входящей информации с учетом опыта разработки предыдущих программных проектов.

Процесс управления рисками в контексте неопределенности информации

Для оценки рисков используется детальный анализ альтернатив достижения целей разработки ПО, прототипирование, имитационное моделирование и т.п. С учетом полученных оценок рисков выбирается тот или иной подход к разработке системных компонентов, далее он реализуется, затем осуществляется планирование следующего этапа процесса создания ПО. Определение рисков и разработка мероприятий по уменьшению их влияния на ход выполнения проекта называется *управлением рисками*.

Риски могут угрожать проекту в целом, создаваемому программному продукту или организации-разработчику. Выделяют три типа рисков: *риски для проекта*, которые влияют на график работ или ресурсы,

необходимые для выполнения проекта; *риски для разрабатываемого продукта*, влияющие на качество или производительность разрабатываемого программного продукта; *бизнес-риски*, которые относятся к организации-разработчику или поставщикам.

Эти типы рисков могут пересекаться, что усложняет их анализ и оценку. Например, если опытный программист покидает проект, это будет риском для проекта (поскольку задерживается срок сдачи готового продукта), риском для продукта (новый программист может оказаться не слишком опытным и сделать ошибки в программе) и бизнес-риском (поскольку задержка данного проекта может негативно повлиять на будущие деловые контакты между заказчиком и организацией-разработчиком).

Существует ряд признаков, которые помогают определить тип риска[3]. Технологические риски характеризуются задержками в поставке оборудования или программных средств поддержки процесса создания ПО, многочисленными документированными технологическими проблемами. Риски, связанные с персоналом учитывают моральное состояние персонала, отношения между членами команды разработчиков, качество выполненной работы. Организационные риски оцениваются по мнению персонала о компетентности высшего руководства организации. Инструментальные риски проявляются в нежелании разработчиков использовать программные средства поддержки, неодобрительных отзывах о CASE-средствах, запросах разработчиков на более мощные инструментальные средства. Риски, связанные с системными требованиями, возрастают при необходимости пересмотра многих системных требований, недовольстве заказчика ПО. Риски оценивания проявляются в частых изменениях графика работ, многочисленных отчетах о нарушении графика работ.

Конкретные типы рисков, которые могут оказать влияние на данный проект, зависят от вида создаваемого программного продукта и от организационного окружения, в котором реализуется программный проект.

Схема процесса управления рисками показана на рис. 2. Этот процесс состоит из четырех этапов.

1. *Определение рисков*. Определяются возможные риски для проекта, для разрабатываемого продукта и бизнес-риски. Определение рисков обычно выполняется в режиме командной работы с использованием подхода «мозговой штурм». Эксперты указывают возможные риски, используя понятия естественного языка. При этом появляется информация, которая является неточной, неполной или недостоверной.

2. *Анализ рисков*. Оценивается вероятность и последовательность появления рисков ситуаций. Большинство оценок является неточными и субъективными. Употребляются лингвистические понятия и оценки типа: «в большинстве случаев», «часто», «иногда», «высокий», «быстро», «малый», «сильный», «катастрофический». При малых объемах статистических данных о рисках в данной организации для схожего ПО оценка вероятности становится практически невозможной. Речь может идти лишь о «возможности» возникновения тех или иных рисков.

3. *Планирование рисков*. Планируются мероприятия по предотвращению рисков или минимизации их воздействия на проект. При этом ни руководитель проекта, ни эксперты зачастую не могут дать четкого обоснования значимости мероприятий для предотвращения рисков.

4. *Мониторинг рисков*. Постоянное оценивание вероятностей рисков и выполнение мероприятий по смягчению последствий проявления рисков ситуаций. На этом этапе количество неточной, неполной и субъективной информации только возрастает.

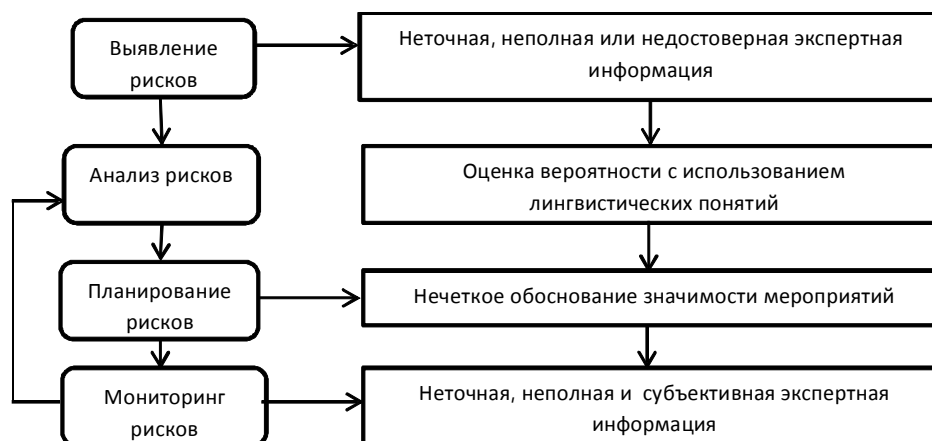


Рис. 2. Процесс управления рисками в контексте неопределенности информации

При анализе для каждого определенного риска подсчитывается вероятность его проявления и ущерб, который он может нанести. Не существует простых методов выполнения анализа рисков – в значительной мере он основан на мнении и опыте руководителя проекта. Для большинства проектов используется следующая шкала вероятностей рисков и их последствий: вероятность риска считается очень низкой, если она имеет значение менее 10 %; низкой от 10 до 25 %; средней при значениях от 25 до 50 %; высокой, если значение колеблется от 50 до 75 %; очень высокой при значениях более 75 %. В данном

случае вероятность в действительности является возможностью проявления риска.

Возможный ущерб от рискованных ситуаций можно разделить на катастрофический, серьезный, терпимый и незначительный. Грань между последствиями рисков четко не определена и для разных проектов масштабы, например, катастрофических последствий, могут значительно отличаться.

После проведения анализа рисков определяются наиболее значимые риски, которые затем отслеживаются на протяжении всего срока выполнения проекта. Мониторинг рисков является непрерывным процессом, отслеживающим ход выполнения мероприятий по управлению рисками, при этом каждый основной риск должен рассматриваться отдельно.

Формальные статистические модели для анализа и мониторинга рисков не являются адекватными. Это связано с недостаточным объемом статистических выборок, изменяющимися с течением времени бизнес условиями и характеристиками проекта и программного продукта.

Ввиду наличия значительных объемов неточной, неполной и недостоверной информацией в процессе управления рисками имеет смысл проводить анализ рисков с использованием механизма нечеткого вывода.

Нечеткая модель для анализа рисков

Системы нечеткого вывода предназначены для реализации процесса нечеткого вывода и служат концептуальным базисом всей современной нечеткой логики. Такие системы позволяют решать задачи автоматического управления, классификации данных, распознавания образов, принятия решений, машинного обучения и др. [4].

Система нечеткого вывода для анализа рисков является частным случаем производственных нечетких систем, в которых условия и заключения отдельных правил формулируются в форме нечетких высказываний относительно значений тех или иных лингвистических переменных. Для получения заключений в системах нечеткого вывода предложены несколько алгоритмов, описание которых базируется на разделении процесса вывода на ряд последовательных этапов:

- формирование базы правил системы нечеткого вывода;
- фаззификация входных переменных;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах;
- активизация или композиция подзаключений в нечетких правилах;
- аккумулярование заключений нечетких правил продукций;
- дефаззификация выходных лингвистических переменных.

База правил нечетких продукций представляет собой конечное множество производственных правил нечетких продукций, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных.

Под *фаззификацией* понимается не только отдельный этап выполнения нечеткого вывода, но и собственно процесс или процедура нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств (термов) на основе обычных (не нечетких) исходных данных. Целью этапа фаззификации является установление соответствия между численным значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной.

Агрегирование представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода.

Активизация - это процесс нахождения степени истинности каждого из подзаключений нечетких правил продукций.

Аккумуляция или *аккумулярование* представляет собой процедуру нахождения функции принадлежности для каждой из выходных лингвистических переменных. Цель аккумуляции заключается в том, чтобы объединить или аккумуляровать все степени истинности заключений (подзаключений) для получения функции принадлежности каждой из выходных переменных. Причина необходимости выполнения этого этапа состоит в том, что подзаключения, относящиеся к одной и той же выходной лингвистической переменной, принадлежат различным правилам системы нечеткого вывода.

Дефаззификация - это процесс нахождения обычного (не нечеткого) значения для каждой из выходных лингвистических переменных. Цель дефаззификации заключается в том, чтобы, используя результаты аккумуляции всех выходных лингвистических переменных, получить обычное количественное значение каждой из выходных переменных, которое может быть использовано специальными устройствами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода. Этап дефаззификации считается законченным, когда для каждой из выходных лингвистических переменных будут определены итоговые количественные значения в форме некоторого действительного числа.

Для построения системы нечеткого вывода для анализа, мониторинга и оценки рисков при разработке программного обеспечения была разработана *нечеткая модель* задачи анализа рисков.

В нечеткой модели использованы входные переменные, которые представляют набор наиболее вероятных для программного проекта рисков и степени влияния рисков на качество ПО:

- текучесть кадров;
- изменение пользовательских требований;
- уровень квалификации разработчиков (владение CASE-средствами разработки и языком программирования);

- вероятность появления конкурирующего ПО;
- степень влияния других (кроме этих четырех) рисков на качество ПО.

В качестве выходной переменной использовано значение степени ущерба от наступления рисков ситуаций, которое является непрямой оценкой качества ПО. Чем выше возможность проявления каждого из рисков, тем более значимым будет ущерб, а чем выше возможный ущерб, тем хуже качество продукта.

Все рассматриваемые переменные измеряются в баллах в интервале действительных чисел от 0 до 10. Для переменной «уровень квалификации разработчиков» наихудшая оценка переменной равна 0, а наилучшее значение равно 10. Для всех остальных входных переменных и для выходной переменной наихудшая оценка равна 10, а наилучшее значение равно 0.

Для анализа степени возможного ущерба экспертами было составлено множество нечетких эвристических правил (более 40). Примеры правил:

- 1) если текучесть кадров средняя и уровень квалификации разработчиков очень высокий и изменения пользовательских требований редкие, то степень ущерба незначительная;
- 2) если вероятность появления конкурирующего ПО низкая и уровень квалификации разработчиков очень высокий и изменения пользовательских требований частые, то степень ущерба терпимая;
- 3) если текучесть кадров низкая и степень влияния других рисков на качество ПО средняя и уровень квалификации разработчиков очень высокий, то степень ущерба незначительная;
- 4) если вероятность появления конкурирующего ПО низкая и изменения пользовательских требований средние и уровень квалификации разработчиков низкий, то степень ущерба терпимая;
- 5) если вероятность появления конкурирующего ПО высокая и изменения пользовательских требований частые и текучесть кадров средняя, то степень ущерба катастрофическая.

После формирования базы знаний был проведен этап фаззификации входных и выходных переменных нечеткой модели.

Для представления терм-множества лингвистической переменной «текучесть кадров» используется множество $SET1 = \{\text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}\}$. В символическом виде зададим его как $SET1 = \{L, M, H\}$.

В качестве терм-множества переменной «изменения пользовательских требований» используется аналогичное множество $SET2 = \{\text{«редкие»}, \text{«средние»}, \text{«частые»}\}$. В символическом виде зададим его как $SET2 = \{L, M, H\}$.

В качестве терм-множества переменной «уровень квалификации разработчиков» используется множество $SET3 = \{\text{«очень высокий»}, \text{«высокий»}, \text{«средний»}, \text{«низкий»}\}$. В символическом виде зададим его как $SET3 = \{VH, H, M, L\}$. Функция принадлежности термов изображена на рис. 3.

В качестве терм-множества лингвистической переменной «вероятность появления конкурирующего ПО» используется множество $SET4 = \{\text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}\}$. В символическом виде зададим его как $SET4 = \{L, M, H\}$. Функция принадлежности термов изображена на рис. 4.

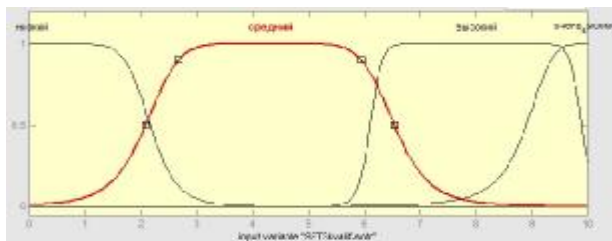


Рис. 3. График функции принадлежности термов переменной «уровень квалификации разработчиков»

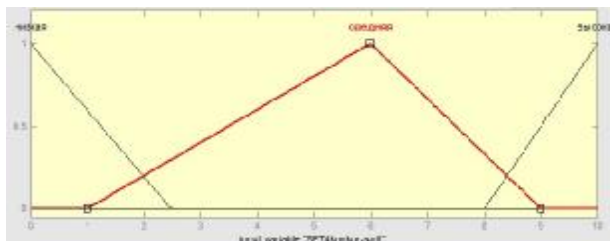


Рис. 4. График функции принадлежности термов переменной «появление конкурирующего ПО»

В качестве терм-множества лингвистической переменной «степень влияния других рисков на качество ПО» используется множество $SET5 = \{\text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}\}$. В символическом виде зададим его как $SET5 = \{L, M, H\}$. Функция принадлежности термов изображена на рис. 5.

Для представления терм-множества выходной лингвистической переменной «степень ущерба» используется множество $SET6 = \{\text{«незначительная»}, \text{«серьезная»}, \text{«терпимая»}, \text{«катастрофическая»}\}$. В символическом виде зададим его как $SET6 = \{LL, L, M, H\}$. Функция принадлежности термов изображена на рис. 6.

В качестве схемы нечеткого вывода используется метод Мамдани[4, 5].

Метод активации **min**, который рассчитывается по формуле:

$$\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\},$$

где c_i – степени истинности подзаключений для каждого из правил, $\mu(y)$ – функция принадлежности терма выходной переменной.

Методы агрегирования подусловий. Поскольку во всех правилах в качестве логической связки для подусловий применяется только нечеткая конъюнкция (операция "И"), то в качестве метода агрегирования используется операция **min** конъюнкции.

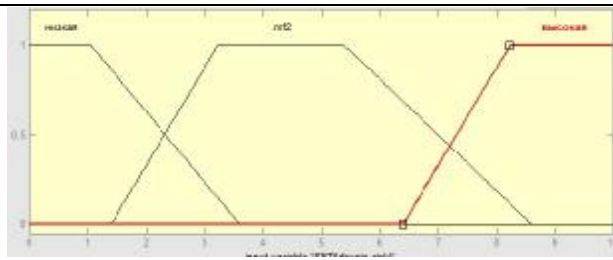


Рис. 5. График функции принадлежности термов переменной «степень влияния других рисков на качество ПО»

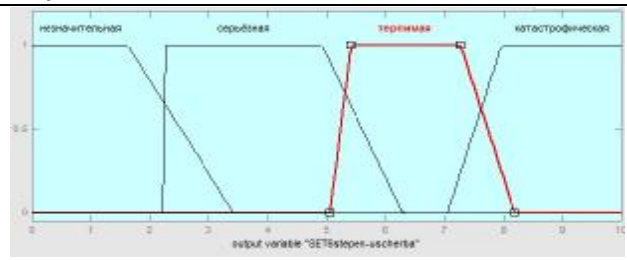


Рис. 6. График функции принадлежности термов выходной переменной «степень ущерба»

Для аккумуляции заключений правил используется метод **max** дизъюнкции, который также применяется в случае схемы нечеткого вывода методом Мамдани. В качестве метода дефазификации используется метод центра тяжести. Согласно этому методу центр тяжести вычисляется по формуле:

$$y = \frac{\int_{min}^{max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{min}^{max} \mu(x) dx}$$

где y – результат дефазификации; x - переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной, $\mu(x)$ - функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной лингвистической переменной после этапа аккумуляции; min и max - левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества рассматриваемой выходной лингвистической переменной.

При дефазификации методом центра тяжести обычное (не нечеткое) значение выходной переменной равно абсциссе центра тяжести площади, ограниченной графиком кривой функции принадлежности соответствующей выходной переменной.

Система нечеткого вывода

Для построения системы нечеткого вывода использован пакет Fuzzy Logic Toolbox системы Matlab. С помощью редактора нечеткого вывода FIS Editor заданы следующие параметры системы нечеткого вывода: тип – Мамдани, метод агрегирования, метод аккумуляции, метод дефазификации, все входы и выходы системы нечеткого вывода и их названия. В нашем случае с помощью меню заданы пять входов и один выход (рис. 7).

Функции принадлежности были отредактированы и переименованы соответственно значениям, которые они могут принимать. Процесс редактирования представлен на рисунке 8. Для переменной «текучесть кадров» установлена трапецевидная функция принадлежности и указан вид функции для каждого члена терм-множества. Аналогичным образом определены другие переменные.

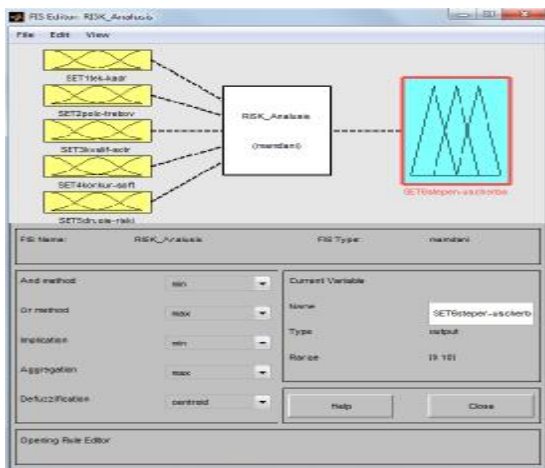


Рис. 7. Окно с указанием входов и выходов системы нечеткого вывода

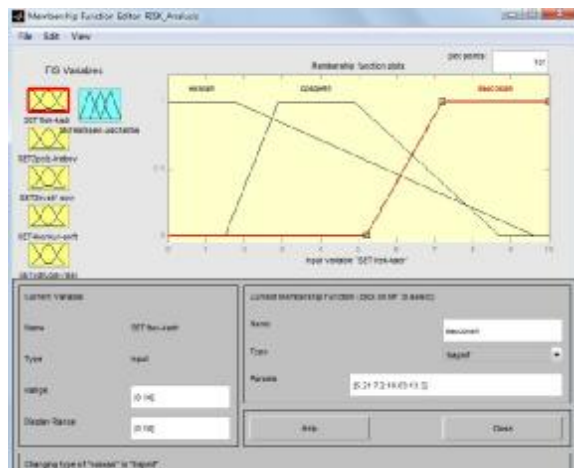


Рис. 8. Редактирование функций принадлежности для переменной «текучесть кадров»

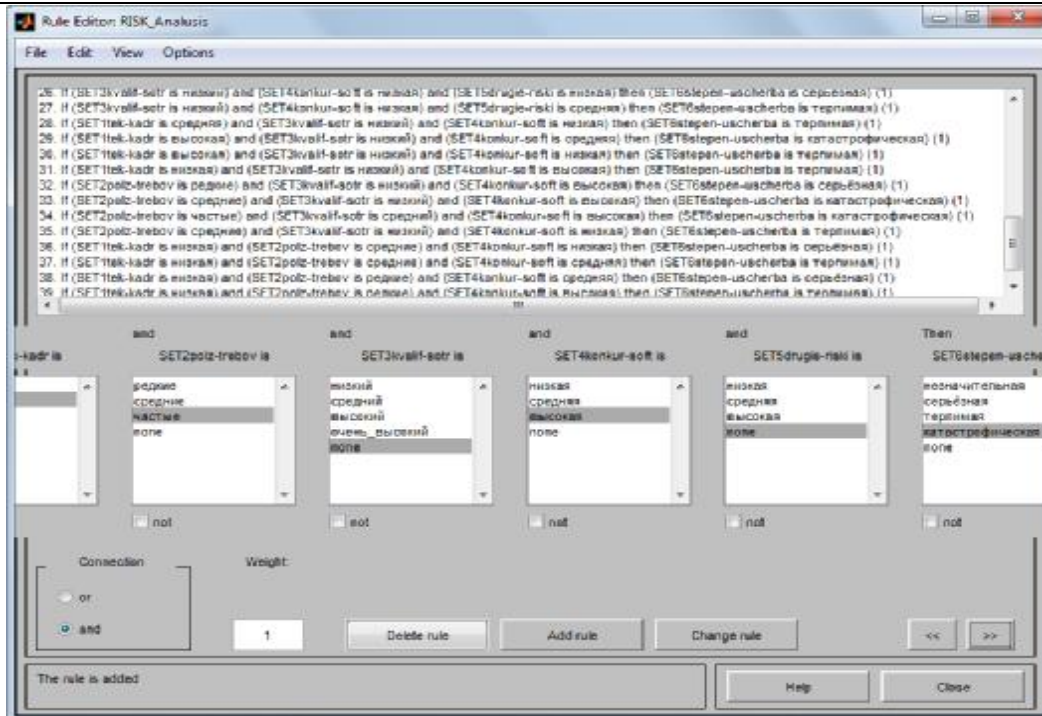


Рис. 9. Набор правил для нечеткого логического вывода

Оценка степени ущерба от реализации рисков с помощью системы нечеткого вывода

Для оценки степени ущерба от реализации рисков с помощью системы нечеткого логического вывода в окне просмотра базы правил **Rule Viewer** указываются значения входных переменных (рис. 10, внизу). Результат оценки степени ущерба выводится в правом верхнем углу окна базы правил (рис. 10, сверху). Также в этом окне отображаются результаты срабатывания каждого правила (выделены желтым цветом) и их влияние на результирующую оценку (выделены синим цветом).

Система нечеткого вывода обеспечивает возможность визуализации поверхности зависимости степени ущерба от двух входных рисков при фиксированных значениях остальных рисков.

На рис. 11 представлена зависимость степени ущерба от уровня квалификации сотрудников и от текучести кадров при фиксированных значениях изменения пользовательских требований (значение риска равно 4), вероятности появления конкурирующего ПО (значение риска равно 7) и степени влияния других рисков проекта (значение риска равно 2).

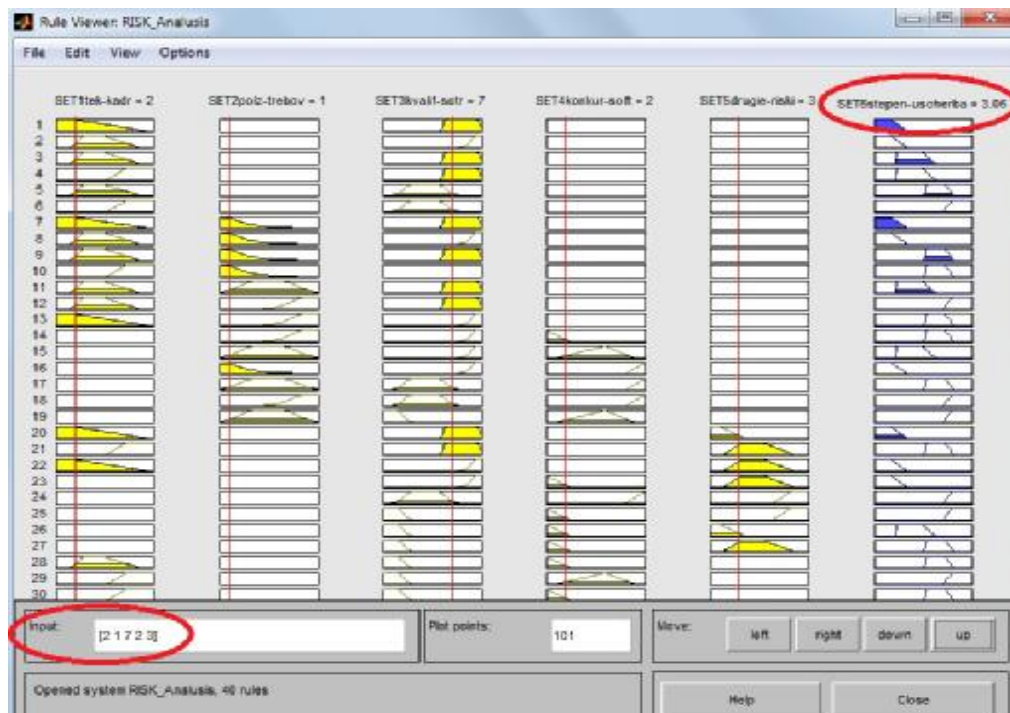


Рис. 10. Результаты нечеткого логического вывода при заданных значениях входных переменных

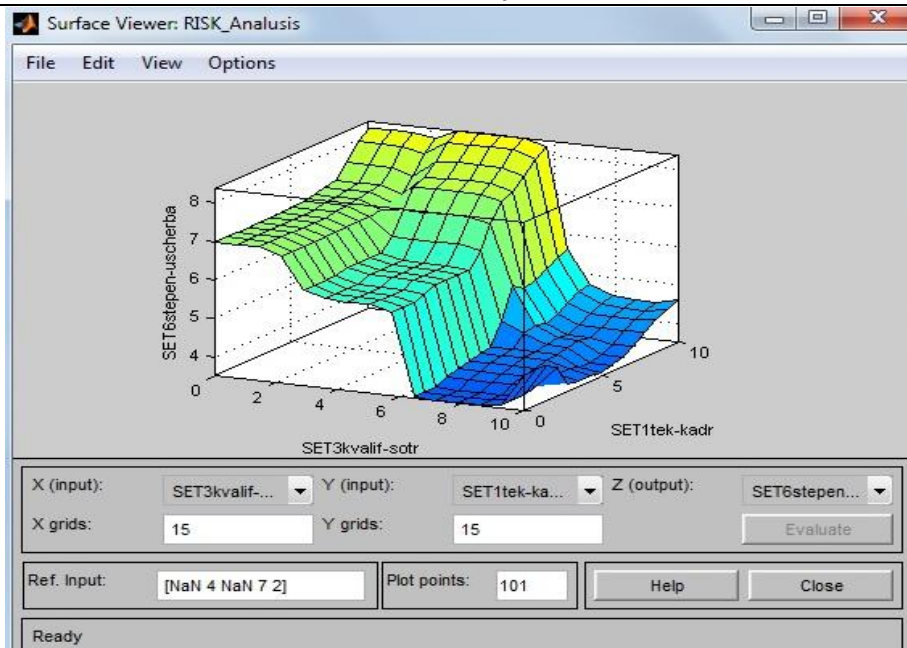


Рис. 11. Зависимость степени ущерба от уровня квалификации сотрудников и от текучести кадров

Такая визуализация обеспечивает руководителя проекта информацией для принятия решений относительно оптимальных допустимых значений рисков в текущем времени. Например, анализ поверхности степени ущерба, представленной на рис. 11, показывает, что степень ущерба равна при значениях риска «уровень квалификации разработчиков» в диапазоне [2,5... 6,5] и риска «текучесть кадров» в диапазоне [0... 5] при фиксированных значениях других рисков. Следовательно, если степень ущерба достигла значения 6, то нет необходимости принимать меры и тратить ресурсы на понижение значений рисков «уровень квалификации разработчиков» и «текучесть кадров» пока они не достигли 6,5 и 5 соответственно.

В процессе реализации проекта значения рисков изменяются. Система нечеткого логического вывода обеспечивает руководителя проекта информацией для анализа, мониторинга и прогнозирования возможного влияния рисков на ход проекта в будущем. Руководитель проекта может оценить насколько позитивно или негативно повлияют изменения каждого отдельного риска на возможный ущерб от реализации всех возможных рисков.

Выводы

Исследование процесса управления рисками показало наличие неточной, неполной и субъективной информации на каждом из его этапов. В этом случае для описания влияния рисков на процесс и качество разработки программного обеспечения эффективным является использование нечеткой логики. Нечеткая модель задачи анализа рисков позволила учесть опыт разработки ПО при построении нечетких экспертных правил. Система нечеткого вывода для анализа, мониторинга и оценки рисков обеспечивает возможность оценки степени возможного ущерба от реализации рисков и исследования зависимости ущерба от изменения каждого отдельного риска. Визуализация поверхностей степени ущерба показала наличие областей значений рисков, при которых не происходит изменения значений ущерба. Такая информация способствует принятию эффективных решений относительно стратегий управления рисками.

Литература

1. Поморова О.В. CASE-оценка критических программных систем. В 3-х томах. Том 1. Качество / Мищенко В.О., Поморова О.В., Говорущенко Т.А. / Под ред. Харченко В.С. – Х.: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – 201 с.
2. Инженеры NASA устранили неполадку компьютера марсохода Curiosity. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.gazeta.ru/news/science/2012/02/10/n_2199477.shtml.
3. Иоан Соммервилл. Инженерия программного обеспечения. 6-е изд. / Иоан Соммервилл – М.: Изд. дом Вильямс, 2002. – 624 с.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. / Леоненков А. В. – СПб.: БХВПетербург, 2005. – 736 с.
5. Новак В. Математические принципы нечёткой логики / Новак В., Перфильева И., Мочкрож И. – Физматлит, 2006. – 352 с.

Надійшла 19.1.2013 р.

Статтю представляє: д.т.н. Поморова О.В.

ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ШАБЛОНІВ ДЛЯ ОПИСУ СИТУАЦІЙ ПРОЦЕСУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ

Розроблено концепції шаблонів (патернів) для опису усіх наявних ситуацій, що виникають при реалізації процесу інтелектуального діагностування комп'ютерних засобів і їх складових на етапі експлуатації. Шаблони формуються динамічно шляхом використання синтаксису регулярних виразів, які в подальшому є основою для формулювання правил встановлення взаємозв'язку між термінами (поняттями) необхідними для реалізації процесу інтелектуального діагностування комп'ютерних засобів.

Ключові слова: комп'ютерні засоби, інтелектуальне діагностування, машинне навчання, шаблонні методи, регулярні вирази.

A concept of templates (patterns) to describe all existing situations that arise in the implementation process of intelligent diagnosis components of computer means operation phases. Patterns are formed dynamically by using regular expression syntax, which then forms the basis for the formulation of rules establishing the relationship between the terms (concepts) necessary to implement the process of predictive diagnostic computer means.

Key words: computer tools, intellectual diagnostics, machine learning, formulaic methods, regular expressions.

Вступ. Сучасні комп'ютерні засоби (КЗ) являються апаратно-програмними системами, складність яких призводить до зростання складності задач, які виникають у процесі діагностування КЗ. Процес діагностування КЗ на етапі експлуатації характеризується рядом особливостей, що його ускладнюють. Це зумовлено не тільки недосконалістю методів здобуття діагностичної інформації та недостатньою формалізованістю опису самого процесу діагностування, але й відсутністю чи високою вартістю апаратних і програмних засобів діагностування, відсутністю технічної документації [1].

На сьогодні для підвищення ефективності процесу діагностування використовують інтелектуальні системи діагностування (ІСД) [1], або системи діагностування, що використовують окремі компоненти штучного інтелекту [2, 3].

До складу таких систем діагностування входять бази знань або інші модулі, починаючи з окремих файлів зі знаннями, і аж до сховищ знань, у яких зберігаються знання, необхідні для реалізації процесу діагностування КЗ. Значна частина знань, які інженер-діагност використовує у процесі вирішення задач інтелектуального діагностування (ІД) КЗ міститься і у накопичених даних мережі Інтернет (Web, форумах та блогах). Такі знання необхідно здобувати, перевіряти, узагальнювати і накопичувати у базах знань ІСД комп'ютерних засобів. Однак, при цьому ускладнюється робота інженера-діагноста, який у процесі вирішення задач діагностування затрачає час на аналіз великих масивів діагностичної інформації необхідної для подальшої реалізації процесу ІД комп'ютерних засобів.

Актуальним підходом щодо вилучення знань, здобуття знань у базах даних, інтелектуального аналізу даних та аналізу шаблонів вважається технологія Data Mining [4-6].

В статті представлено метод формування концепції шаблонів для опису усіх наявних ситуацій, що виникають при реалізації процесу інтелектуального діагностування КЗ і їх складових на етапі експлуатації, які в подальшому є основою для встановлення взаємозв'язків між термінами (поняттями), що описують предметну галузь «Інтелектуальне діагностування КЗ».

Матеріали дослідження. Передумовами виникнення і розвитку технології Data Mining являються різні фактори, до яких слід віднести накопичення великої кількості даних, розвиток технологій збереження і запису даних, удосконалення алгоритмів обробки інформації та апаратного й програмного забезпечення.

По суті, Data Mining – це процес підтримки прийняття рішень, заснований на пошуку в даних прихованих закономірностей (тенденцій і шаблонів інформації) [4].

Технологія Data Mining пов'язана із різними дисциплінами (рис. 1). Кожна із дисциплін, яка бере участь у формуванні області Data Mining, має свої особливості, та може інтегрувати в собі декілька підходів. Найчастіше використовуваними засобами Data Mining, являються машинне навчання та візуалізація. Data Mining активно застосовується для проведення наукових досліджень у сферах біоінформатики, генетики, медицини, нанотехнологій та ін.

Розвиток технології Data Mining підтверджується рядом алгоритмів, достатністю методів та певними науковими досягненнями. До основних алгоритмів Data Mining належать: алгоритм класифікації, висновок шляхом зіставлення (Memory-based Reasoning, MBR) та висновок, заснований на прецедентах (Case-based Reasoning, CBR) [5].

Актуальність використання цих методів полягає у їх застосуванні до рішення широкого кола задач в різних предметних галузях у сукупності із новими властивостями технічних і програмних засобів.

Використання машинного навчання у галузі технічного діагностування дає можливість покращити якість функціонування систем діагностування та автоматизувати процес одержання нових знань шляхом аналізу результатів попередніх успішних чи невдалих сеансів діагностування.

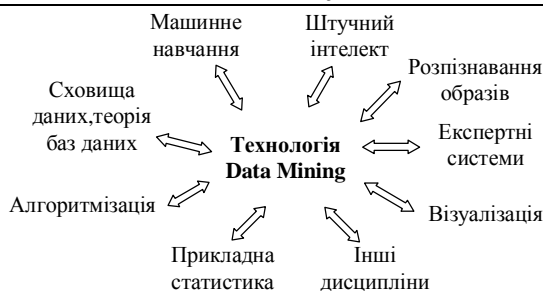


Рис. 1. Галузі застосування технології Data Mining

Ефективність методів машинного навчання в основному визначається їх здатністю опрацьовувати більшу кількість взаємозв'язків даних, ніж може виявити людина [5, 6].

На сьогодні єдине визначення машинного навчання відсутнє. Його можна охарактеризувати як процес отримання програмою нових знань. Прийmemo до уваги визначення, що подано у [7]: машинне навчання – це широка галузь досліджень, що розглядає велику кількість проблем і алгоритмів їх вирішення.

Алгоритми машинного навчання відрізняються своїми задачами, вихідними даними, стратегіями навчання і способами представлення знань. Однак всі вони мають спільну мету – пошук корисної інформації в просторі можливих понять і її коректному узагальненню. Машинне навчання припускає використання методів, таких як дерева розв'язків, асоціативні правила, генетичні алгоритми та штучні нейронні мережі. Серед алгоритмів машинного навчання найчастіше використовуються штучні нейронні мережі.

Сфера застосувань машинного навчання постійно розширюється. Цьому сприяють розвиток мережних технологій, що призводить до накопичення величезних об'ємів даних в мережі Інтернет, збільшення літературних джерел в різних галузях науки, масове поширення електронних носіїв інформації та ін.

Спробуємо застосувати машинне навчання в процесі «Data Mining»-аналізу у галузі технічного діагностування. Для цього реалізуємо процес самостійного отримання знань ІСД комп'ютерних засобів у процесі її роботи шляхом пошуку залежностей між термінами (поняттями), що описують предметну галузь «Інтелектуальне діагностування КЗ».

Розроблення шаблонів опису ситуацій, що виникають при реалізації процесу ІД КЗ. В основу сучасної технології Data Mining покладена концепція шаблонів (патернів), що здатні відобразити фрагменти багатоаспектних залежностей і зв'язків між даними. Такі шаблони являють собою закономірності, що властиві підвибіркам даних і можуть бути виражені у зрозумілій для людини формі. Для пошуку шаблонів використовуються методи, які необмежені рамками апріорних припущень про структуру вибірки. Знайдені шаблони повинні відображати нетривіальні, практично корисні, несподівані регулярності даних, що складають так звані «приховані» знання [8].

Пропонується для встановлення взаємозв'язку між практично корисними знаннями (поняттями), що є необхідними при реалізації процесу ІД узагальненою формальною моделлю процесу інтелектуального діагностування КЗ, сформуємо концепції шаблонів (патернів).

Основою побудови узагальненої формальної моделі процесу інтелектуального діагностування КЗ є модель взаємозв'язку контексту та обґрунтування процесу ІД, яка одержана шляхом формального представлення опису ситуацій на базі словників даної предметної галузі (рис. 2) [9].

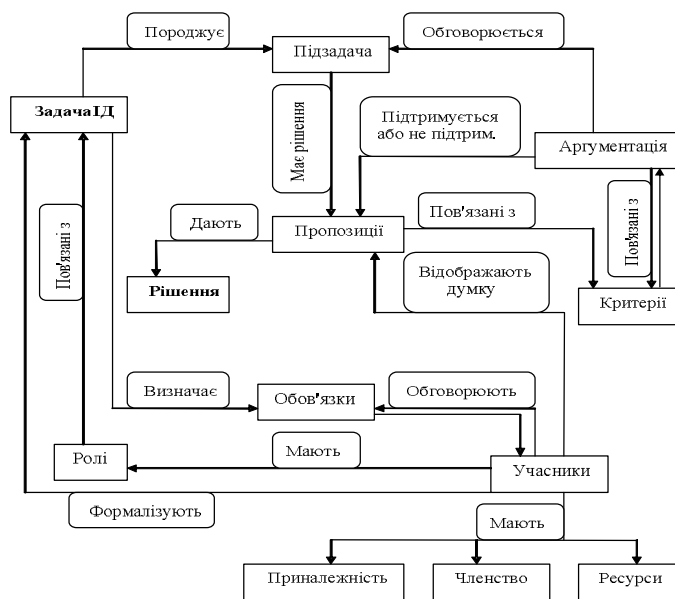


Рис. 2. Модель взаємозв'язку контексту та обґрунтування процесу ІД

Для реалізації процесу інтелектуального діагностування у контексті та обґрунтуванні процесу ІД шляхом опису усіх можливих ситуацій, задіяно учасників (експертів-діагностів), з врахуванням їх кваліфікації, обов'язків та ролей. Опис ситуацій складається з кроків, на основі яких обирається найбільш повний, на даний момент часу, варіант представлення:

1) формалізація концептуального представлення, що використовується на етапі моделювання процесу ІД для виділення ситуацій;

2) генерація множини представлень опису ситуацій.

Дослідження контексту процесу реалізації ІД та його обґрунтування дозволило розглянути усі наявні ситуації, що виникають при реалізації процесу ІД КЗ і їх складових на етапі експлуатації:

- породжує (задача ІД, підзадача) – $R_1 : OT \times Z \rightarrow \{0,1\}$, де $Z = \{z_i\}, i = \overline{1,q}$ – множина можливих під задач;

- визначає (задача ІД, обов'язки) – $R_2 : Z \times D \rightarrow \{0,1\}$, де $Y = \{y_i\}, i = \overline{1,g}$, – множина учасників процесу ІД, $D = \{d_j\}, j = \overline{1,l}$, – множина обов'язків учасника;

- має рішення (підзадача, пропозиції) – ситуація $R_3 : Z \times P \rightarrow \{0,1\}$, де $P = \{p_j\}, j = \overline{1,k}$ – множина пропозицій;

- обговорюють (обов'язки, учасники) – $R_4 : D \times Y \rightarrow \{0,1\}$; пов'язані з (пропозиції, критерії) – $R_5 : P \times F \rightarrow \{0,1\}$;

- дають (пропозиції, рішення) – $R_6 : P \times S \rightarrow \{0,1\}$, де $S = \{s_i\}, i = \overline{1,t}$ – множина рішень;

- пов'язані з (критерії, аргументація) – $R_7 : F \times A \rightarrow \{0,1\}$, де $F = \{f_i\}, i = \overline{1,k}$ – множина критеріїв;

- пов'язані з (аргументація, критерії) – $R_8 : A \times F \rightarrow \{0,1\}$;

- обговорюють (аргументи, підзадачі) – $R_9 : A \times Z \rightarrow \{0,1\}$, де $A = \{a_i\}, i = \overline{1,n}$ – множина аргументацій; підтримується або не підтримується (аргументація, пропозиції) – $R_{10} : A \times P \rightarrow \{0,1\}$;

- відображають думку (учасники, пропозиції) – $R_{11} : Y \times P \rightarrow \{0,1\}$;

- обговорюють (учасники, обов'язки) – $R_{12} : Y \times D \rightarrow \{0,1\}$;

- мають (учасники, ролі) – $R_{13} : Y \times T \rightarrow \{0,1\}$, де $T = \{t_i\}, i = \overline{1,d}$ – множина опису ролі кожного із учасників; мають (учасники, характер) – $R_{14} : Y \times H \rightarrow \{0,1\}$, де $H = \{h_j\}, j = \overline{1,f}$ – множина характеристик учасників;

- формалізують (учасники, задача ІД) – $R_{15} : Y \times OT \rightarrow \{0,1\}$;

- пов'язані з (ролі, задача ІД) – $R_{16} : T \times OT \rightarrow \{0,1\}$.

У результаті дослідження контексту процесу ІД комп'ютерних засобів та його обґрунтування, отримано опис ситуацій $R' = \{R_i\}, i = \overline{1,16}$, де $R' \in R_K$.

В основу шаблонів покладено системи синтаксичної обробки текстових фрагментів по сформованому шаблону, а саме регулярні вирази. Ці вирази в подальшому забезпечують формулювання правил здобуття термінів (понять) необхідних для розв'язання задач ІД комп'ютерних засобів.

Регулярними виразами називають потужні засоби обробки текстів (пошуку, заміни, редагування), спеціальні символи, які використовуються для порівняння або захоплення частин поля, а також правила, які керують цими символами, використовують ці вирази для порівняння даних і виконання певних дій у разі виявлення збігів [8].

На сьогодні у напрямку створення регулярних виразів розроблено ряд шаблонів, що використовуються у різних галузях. Зазвичай їх використовують для задач розпізнавання форматів зображень, пошуку необхідних частин текстів, які містять деякі слова та виключення проміжних слів у тексті. Наприклад, у пошукових системах шаблони використовуються для перевірки унікальності тексту.

У [10] розглянуто шаблони пошуку на основі регулярних виразів, які повинні шукати послідовні набори слів з виключенням ряду слів усередині окремих частин тексту, а у [11] наведено приклади створення підшаблонів, приклади використання регулярних виразів, при пошуку шаблонів, які складаються з певних слів.

Розробимо регулярні вирази за допомогою інструментальних засобів мови програмування java в середовищі NetBeans IDE з використанням бібліотеки Java.util.regex, що забезпечує використання класів регулярних виразів (Pattern, Matcher, PatternSyntaxException).

Для термінів, які зберігаються у словнику предметної галузі «Інтелектуальне діагностування КЗ» генеруємо шаблони усіх наявних ситуацій, що виникають при реалізації процесу ІД КЗ і їх складових на

етапі експлуатації. Формування концепції шаблонів здійсимо на основі синтаксису регулярних виразів, що містить набір метасимволів, символів узагальнення, групування та повторення.

У якості метасимволів та символів групування і повторення використаємо такі позначення:

- $.$ (крапка) – один довільний символ (окрім символу переходу на новий рядок);
- $*$ – нуль або більше разів повторений попередній символ (або група символів);
- $\{n\}$ – рівно n разів повторений попередній символ (або група символів);
- $\{n,m\}$ – попередній символ (або група символів) повторений від n до m разів;
- $\{n,\}$ – n або більше разів повторений попередній символ (або група символів).

Для одержання доступу з програмного забезпечення до діагностичної інформації, що міститься в мережі Інтернет на Web, e-mail, форумах та блогах використаємо адреси необхідних Web-сторінок, або в іншому випадку, обираємо текстовий файл з діагностичною інформацією (рис. 3).



Рис. 3. Схема доступу до тексту з діагностичною інформацією

Отримуємо HTML код обраної Web-сторінки та очищаємо її від тегів. Необхідність очищення, пов'язана із отриманням «чистого» тексту з діагностичною інформацією, що міститься на введеної Web-сторінці. Отриманий, очищений текст з діагностичною інформацією підлягає подальшому аналізу ІД комп'ютерних засобів.

Аналіз тексту, що містить діагностичну інформацію необхідну для розв'язання задач ІД КЗ здійсимо за заданим шаблоном, який повинен складатися із таких частин:

- 1) « $.$ » – будь-які символи, що можуть зустрічатися у тексті;
- 2) різні терміни (поняття);
- 3) « $\{n\}$ » – символ (або група символів), яка складаються з n символів;
- 4) « $\{n,m\}$ » – символ (або група символів) повторений від n до m разів;
- 5) ключові слова.

Лапки (« $\{ \}$ ») виділяють частини шаблону і не являються складовою частиною синтаксису регулярних виразів, що описують усі наявні ситуації при реалізації процесу ІД складових КЗ на етапі експлуатації.

Під групою символів, яка може містити n символів розглядається деяка кількість будь-яких символів, яка може міститися між термінами і ключовим словом.

Терміни представляються у відповідності до опису ситуації процесу інтелектуального діагностування КЗ, яка формалізується. Ключові слова є апріорними по відношенню до усіх наявних ситуацій, що виникають при реалізації процесу ІД КЗ і їх складових на етапі експлуатації. Наприклад, для ситуації: породжує (задача ІД, підзадача) під термінами (поняттями) даної предметної галузі розглядатимемо (задачу ІД, підзадачу), а породжує – ключове слово.

Концепції шаблонів формуємо динамічно у відповідності до усіх наявних ситуації, що виникають у процесу ІД комп'ютерних засобів і перевіряємо наступним чином:

1. Потрібний термін (поняття), що описує предметну галузь «Інтелектуальне діагностування КЗ» пов'язуємо із групою термінів, що описані словниками даної предметної галузі. Для кожної групи генеруються необхідні таблиці для внесення цих понять та встановлення відповідних зв'язків між ними.

Сформуємо концепцію шаблону для усіх наявних ситуацій, що виникають при реалізації процесу ІД складових КЗ із послідовності таких складових частин:

« $.$ » «термін» « $\{n\}$ » або « $\{n,m\}$ » «ключове слово» « $\{n\}$ » або « $\{n,m\}$ » «термін» « $.$ ».

Розглянемо кожну складову частину шаблону більш детально. Використовуваний нами шаблон розпочинається із будь-якого символу – « $.$ », що означає певну частину тексту з діагностичною інформацією, знайдену заданим шаблоном. Це дасть змогу виявляти знання не тільки ті, що знаходяться на початку рядка тексту, але й ті, що знаходяться в будь-якій частині тексту.

Частини шаблону, що являється термінами, тобто відповідають власне термінам (поняттям) предметної галузі «Інтелектуальне діагностування КЗ» у відповідності до усіх наявних ситуацій процесу ІД

комп'ютерних засобів генеруємо покроково:

Крок 1. Розбиваємо термін (поняття) на окремі частини. Це необхідно для того, щоб виділити корені кожного слова, що входять до даного терміну.

Крок 2. Знаходимо корінь заданого терміну обравши перші 4 символи слова.

Крок 3. Генеруємо підшаблон для кожного поняття. Врахуємо, що у використовуваному понятті між окремим коренями слів може бути від n до m довільних символів. Задамо ці символи комбінацією – « $\{n, m\}$ ».

Крок 4. Формуємо концепції, тобто способи розуміння тексту підшаблонами та власне загальним шаблоном усіх наявних ситуацій процесу ІД складових комп'ютерних засобів.

Підшаблон терміну_1: « корінь_1 $\{n, m\}$ корінь_2 $\{n, m\}$ корінь_3 $\{n, m\}$ корінь_4 $\{n, m\}$ ».

Підшаблон терміну_2: « корінь_1 $\{n, m\}$ корінь_2 $\{n, m\}$ корінь_3 $\{n, m\}$ корінь_4 $\{n, m\}$ ».

Крок 5. Генеруємо шаблон для кожного поняття. Врахуємо, що у використовуваному понятті між окремим термінами може бути від i до j довільних символів. Задамо ці символи комбінацією – « $\{i, j\}$ ».

Загальний вигляд шаблону, що описує термін_1 та термін_2 має такий вигляд:

« \cdot » «підшаблон терміну_1» « $\{i, j\}$ » «ключове слово» « $\{i, j\}$ » «підшаблон терміну_1» « \cdot » .

2. Розробимо модулі, які забезпечать формування шаблонів для усіх наявних ситуацій процесу інтелектуального діагностування КЗ (рис. 4).

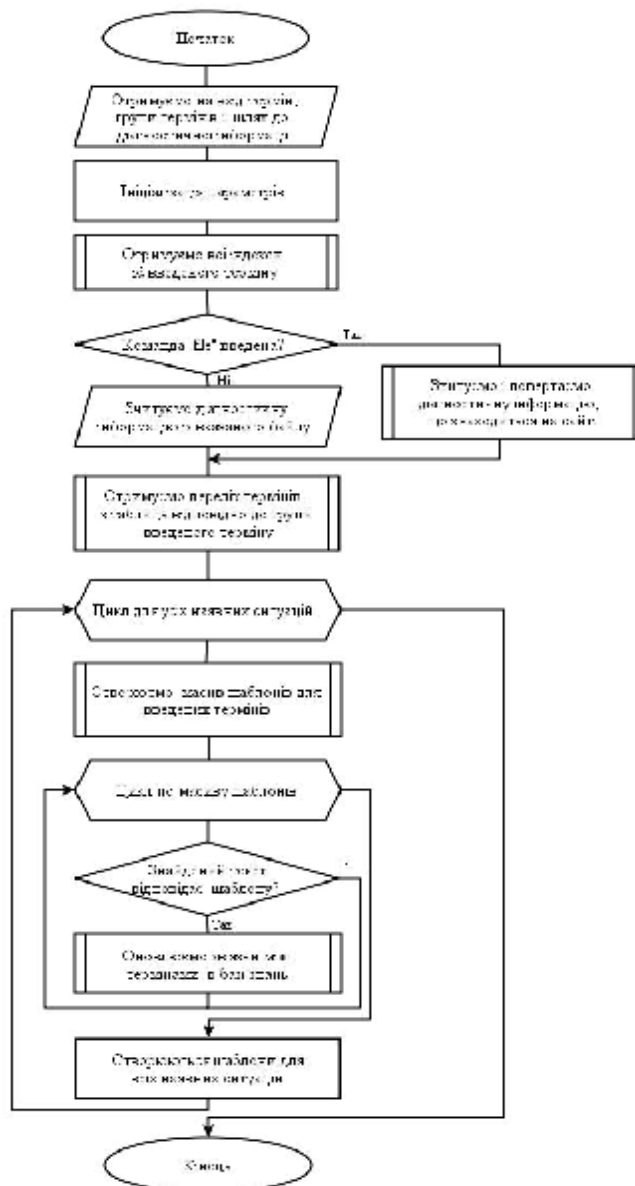


Рис. 4. Схема алгоритму пошуку шаблонів у текстах, що містить діагностичну інформацію

Кожен створений шаблон ситуації процесу ІД КЗ, що формалізується перевіряється можливостями

допустимих функцій у бібліотеці регулярних виразів мови програмування Java. Якщо за допомогою шаблону знайдено відповідні частини тексту з діагностичною інформацією, то для заданих термінів даного шаблону встановлюються взаємозв'язки між поняттями здобутими за даним шаблоном.

Розглянемо приклад згенерованого шаблону для ситуації породжує (задача ІД, підзадача). Загальний вигляд концепції шаблону, що описує термін_1 та термін_2 має такий вигляд:

«.» «корінь_1 $\{n,m\}$ корінь_2 $\{n,m\}$ корінь_3 $\{n,m\}$ корінь_4 $\{n,m\}$ » « $\{i,j\}$ »
 «ключове слово» « $\{i,j\}$ » «корінь_1 $\{n,m\}$ корінь_2 $\{n,m\}$ корінь_3 $\{n,m\}$ корінь_4 $\{n,m\}$ » «.»

Наприклад, сформуємо шаблон для окремої ситуації, що виникає у процесі ІД складових КЗ:

«.» пере $\{n,m\}$ проц « $\{i,j\}$ » призводить $\{n,m\}$ до « $\{i,j\}$ » зниж $\{n,m\}$ част $\{n,m\}$ обер $\{n,m\}$ вент «.» .

У відповідності до наведеного шаблону із кожного слова термінів береться до уваги лише частина слова, а саме перші 4 символи, їх і приймаємо за корінь слова. Далі, наприклад, складаємо підшаблон терміну_1: перегрівання процесора – пере « $\{n,m\}$ » проц.

Наприклад, сформуємо підшаблон терміну_2: зниження частоти обертів вентилятора – зниж $\{n,m\}$ част $\{n,m\}$ обер $\{n,m\}$ вент.

Складаємо загальний шаблон із 2-х термінів, де на початку і в кінці шаблону поставимо «.» Тут розглядатимуться будь-які довільні символи від початку рядка, за яким розмістимо перший термін. За ним слідує « $\{i,j\}$ » – це кількість символів між терміном і ключовим словом – «породжує». Допишемо « $\{i,j\}$ » – це від i до j символів, тобто від ключового слова до другого терміну. Записуємо термін_2 і в кінці розміщуємо деяку наперед невідому кількість символів – «.» .

Наведемо приклади сформованих шаблонів для інших ситуацій процесу ІД КЗ і їх складових на етапі експлуатації:

- має рішення (підзадача, пропозиції). Наприклад, розрив контактів має рішення ремонт провідників:

- «.» розр $\{n,m\}$ конт « $\{i,j\}$ » має рішення « $\{i,j\}$ » ремо $\{n,m\}$ пров $\{n,m\}$ «.» ;
- визначає (задача ІД, обов'язки). Наприклад, вихід із ладу блоку живлення визначає візуальний контроль: «.» вихі $\{n,m\}$ із $\{n,m\}$ ладу $\{n,m\}$ блок « $\{i,j\}$ » визначає « $\{i,j\}$ » візу $\{n,m\}$ конт «.» ;
- обговорюють (обов'язки, учасники). Наприклад, тактильний контроль обговорюють учасник 1:
- «.» такт $\{n,m\}$ конт « $\{i,j\}$ » обговорюють « $\{i,j\}$ » учас $\{n,m\}$ 1 «.» ;
- пов'язані з (пропозиції, критерії). Наприклад, ремонт провідників пов'язаний з оцінкою вартості ремонту: «.» ремо $\{n,m\}$ пров « $\{i,j\}$ » пов'язані з « $\{i,j\}$ » оцін $\{n,m\}$ варт $\{n,m\}$ ремо «.» ;
- дають (пропозиції, рішення). Наприклад, зменшення частоти шини – перевірити рівень шуму:
- «.» змен $\{n,m\}$ част $\{n,m\}$ шини « $\{i,j\}$ » дають « $\{i,j\}$ » пере $\{n,m\}$ ріве $\{n,m\}$ шуму «.» ;

- пов'язані з (критерії, аргументація). Наприклад, оцінка вартості ремонту – тестуванням:

- «.» оцін $\{n,m\}$ варт $\{n,m\}$ ремо « $\{i,j\}$ » пов'язані з « $\{i,j\}$ » тест «.» ;
- пов'язані з (аргументація, критерії). Наприклад, тестування пов'язане з спеціальним обладнанням:

- «.» тест « $\{i,j\}$ » пов'язані з « $\{i,j\}$ » спец $\{n,m\}$ обла «.» ;
- обговорюють (аргументи, підзадачі). Наприклад, спеціальне обладнання – коротке замикання:
- «.» спец $\{n,m\}$ обла « $\{i,j\}$ » обговорюють « $\{i,j\}$ » коро $\{n,m\}$ зами «.» ;
- підтримується або не підтримується (аргументація, пропозиції). Наприклад, використання мультимплектора – тестування кешу даних:

- «.» вико $\{n,m\}$ мульт « $\{i,j\}$ » не підтримується « $\{i,j\}$ » тест $\{n,m\}$ кешу $\{n,m\}$ дани «.» ;
- обговорюють (учасники, обов'язки). Наприклад, учасник 1 обговорює визначення робочої частоти:

- «.» учас $\{n,m\}$ 1 « $\{i,j\}$ » обговорюють « $\{i,j\}$ » визн $\{n,m\}$ робо $\{n,m\}$ част «.» ;
- формалізують (учасники, задача ІД). Наприклад, учасник 2 формалізує зниження частоти обертів вентилятора:

- «.» учас $\{n,m\}$ 2 « $\{i,j\}$ » формалізують « $\{i,j\}$ » зниж $\{n,m\}$ част $\{n,m\}$ обер $\{n,m\}$ вент «.» ;

- пов'язані з (ролі, задача ІД). Наприклад, заміна кулера – зниження частоти обертів вентилятора:
- «.» замі $\{n, m\}$ куле « $\{i, j\}$ » пов'язані з « $\{i, j\}$ » зниж $\{n, m\}$ част $\{n, m\}$ обер $\{n, m\}$ вент «.».

В процесі аналізу текстів з діагностичною інформацією досліджувалась загальна кількість виявлених взаємозв'язків між термінами (поняттями), що являють собою правила-продукції, які можна виявити за допомогою сформованих концепцій шаблонів, в розглянутих джерелах.

На рис. 5 подано діаграму, сектори якої відповідають відсотковій частці кількості правил-продукції отриманих в процесі аналізу кожного джерела з діагностичною інформацією.

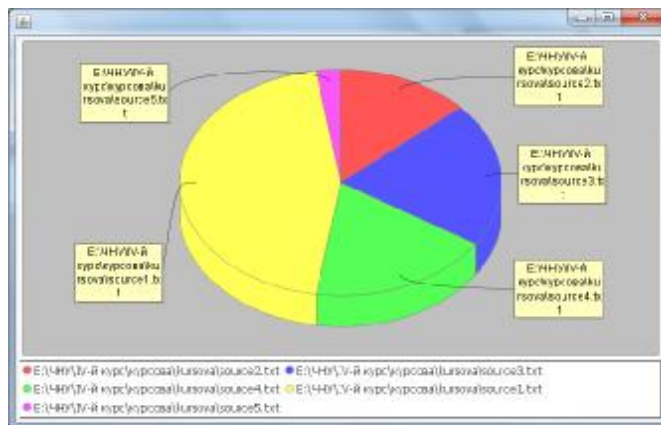


Рис. 5. Відсоткова частка кількості правил-продукції, що знайдено у тексті з діагностичною інформацією

Висновок. Застосування технології Data Mining у поєднанні із засобами машинного навчання для предметної галузі «Інтелектуальне діагностування КЗ» дозволило розробити концепції шаблонів для усіх наявних ситуацій, що виникають при реалізації процесу ІД складових КЗ на етапі експлуатації.

В основу шаблонів (патернів) покладено системи синтаксичної обробки текстових фрагментів по сформованому шаблону – регулярні вирази, що в подальшому забезпечили формулювання правил виявлення термінів даної предметної галузі та встановлення між ними потрібного взаємозв'язку.

Таким чином, динамічно сформовані концепції шаблонів у відповідності до усіх наявних ситуацій, що формалізуються забезпечують отримання знань ІСД комп'ютерних засобів у процесі її роботи шляхом пошуку залежностей між поняттями, що описують дану предметну галузь.

Література

1. Поморова О.В. Теоретичні основи, методи та засоби інтелектуального діагностування комп'ютерних систем : моног. / О.В. Поморова. – Хмельницький: ТОВ «Тріада-М», 2007. – 253 с.
2. Скобцов Ю.А. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / Ю.А. Скобцов, В.Ю. Скобцов. – Донецк: ИПММ НАН України, ДонНТУ, 2005. – 436 с.
3. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / Б.М. Герасимов, В.М. Локазюк, О.Г. Оксіюк, О.В. Поморова. – К. : Європ. ун-т, 2007. – 355 с.
4. Чубукова І.А. Data Mining: учебное пособие. – М.: Интернет-ун-т информ.технологий. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 382 с.
5. Gregory Piatetsky-Shapiro. Data Mining Community's Top Resource for Data Mining and Analytics Software, Jobs, Consulting, Courses, Education, News, Companies, and more [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kdnuggets.com/>.
6. Data Mining: учебный курс (+CD) / В. Дюк и др. – СПб.: Питер, 2001. – 368 с.
7. Люгер Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегия и методы решения сложных проблем [4-е изд., пер. с англ.] / Люгер Джордж Ф. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
8. Regular-Expressions [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.regular-expressions.info/>.
9. Поморова О.В. Узагальнена формальна модель процесу інтелектуального діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем / О.В. Поморова, О.Я. Олар // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – ХАІ. – 2008. – № 5 (32). – С. 133-138.
10. Регулярное выражение для поиска вида: слово1 * (слово2 -слово3 -слово4) * слово5. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://habrahabr.ru/qa/11270>.
11. Данилюк Ілля. Лінгвістичне забезпечення комп'ютерних систем: приклади використання регулярних виразів // Ілля Данилюк. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://litmisto.org.ua/?p=9182>.

Надійшла 12.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Поморова О.В.

РОЗРОБКА СТАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ НА БАЗІ МЕТОДУ СОМЕТ

У статті проведено аналіз методів проектування робототехнічних систем, в результаті якого обрано метод СОМЕТ, як оптимальний для розробки системи керування мобільним роботом. Реалізовано апаратну складову мобільного робота для виконання задачі очищення території. Проведено моделювання вимог до системи керування мобільним роботом. Розроблено статичну модель системи керування мобільним роботом.

Ключові слова: мобільний робот, система керування, розробка вимог.

In the article methods of control systems development for mobile robots have been analyzed. The COMET method was chosen for development of control system. The hardware part of mobile robot for territory cleaning was developed. The requirements modeling of the mobile robot control system was conducted.

Keywords: mobile robot, control system, design requirements.

Вступ

На сьогодні, у промисловості активно впроваджуються робототехнічні системи. Відомі розробки використовуються також у побуті, військових цілях, медицині, в аграрній, аерокосмічній та інших галузях [1-4].

Поряд із успіхами у галузі робототехніки є ряд проблем, які потребують подальших досліджень і розвитку. Згідно статистики наведеній у [5], на сьогодні використовується більше 10 мільйонів роботів, однак лише 5 % оснащені хоча б одним сенсором. Інша частина є жорстко запрограмованими промисловими роботами, що виконують чітку послідовність кроків, не враховуючи можливі зміни зовнішнього середовища. Слід зазначити, що найбільш слабким місцем сучасних робототехнічних систем залишається їх автономність – властивість самостійно приймати рішення. Для успішної автономної діяльності робот повинен мати ефективні засоби для сприйняття, пізнавальної здатності та генерування дій [5]. Існуючі автономні роботи мають ряд обмежень таких як низький рівень адаптивності, недостатній рівень реагування на зміни зовнішнього середовища та ін., що робить їх вузькоспеціалізованими. Тому актуальними є дослідження у напрямку розвитку методів і засобів, що забезпечать підвищення рівня автономності і універсальності роботів.

Для проведення досліджень та апробації отриманих рішень було обрано клас автономних мобільних роботів. Мобільний робот – це робот, що здатний пересуватись у робочому середовищі відповідно до керуючої програми [6]. До задач, які вирішують мобільні роботи відносять: транспортування вантажів, дослідження небезпечних або важкодоступних територій, охорона та/або очищення території та інше. У якості базової обрано задачу очищення мобільним роботом заданої території від сторонніх об'єктів. Для розв'язання цієї задачі необхідно розробити систему керування автономним мобільним роботом. Основними вимогами, що висуваються до системи керування є: виконання дій згідно заздалегідь визначеної поведінкової моделі; пошук оптимального варіанту очищення території згідно її поточного стану; оперативна реакція робота на зміни в оточуючому середовищі.

Для автономних мобільних роботів використовується три типи систем керування: програмна, адаптивна та інтелектуальна. В програмних системах керування – робот функціонує у незмінному середовищі згідно заздалегідь заданої програми, строго виконуючи задану послідовність дій. Адаптивні системи керування передбачають вирішення типових задач з можливістю адаптації поведінки робота до змін середовища. Інтелектуальні системи керування дозволяють мобільному роботу функціонувати у середовищі що змінюється та виконувати різноманітні задачі. Задача очищення території автономним мобільним роботом при наявності невизначеності, наприклад, недостатньо інформації щодо кількості та властивості об'єктів на території, наявності перешкоди складної форми, складні комбінації розміщення об'єктів, та інше, не може бути ефективно вирішена програмними та адаптивними системами керування. Тому перспективним є використання інтелектуальних систем керування мобільними роботами.

На сьогодні найбільш поширеними об'єктно-орієнтованими методами для розроблення робототехнічних систем є:

- ОМТ (Object Modeling Technique). Система представляється у вигляді трьох взаємопов'язаних моделей: об'єктна модель, що визначає статичні аспекти системи, переважно пов'язані з даними (статична структура); динамічна модель, що описує роботу окремих частин системи (динамічна структура); функціональна модель, яка описує взаємодію окремих частин системи. Для представлення моделей застосовується графічна форма;

- SA/SD (Structured Analysis/Structured Design). Його спільною рисою з методом ОМТ є підтримка трьох взаємоортогональних представлень проекрованої системи. Головна відмінність – пріоритети у розробці моделей. Головною є функціональна модель, наступними за важливістю є динамічна модель та об'єктна модель;

- JSD (Jackson Structured Development). У методі відсутні виокремлені етапи аналізу вимог до

системи та її реалізації. Вони поєднані в загальний етап розробки специфікації системи. Розробка системи передбачає шість етапів: розробка дій і об'єктів; структури об'єктів; вихідної моделі; функцій; почасових обмежень; реалізація системи. У порівнянні з іншими методами, JSD у меншій мірі орієнтований на застосування графічних представлень;

- група методів IDEF (Icam DEFinition), що містить: IDEF0 – метод і нотація опису бізнес процесів; IDEF1 – метод і нотація опису взаємозв'язків між інформаційними потоками; IDEF1X – метод і нотація розробки реляційних баз даних; IDEF3 – метод і нотація опису технологічних процесів; IDEF5 – метод і нотація опису онтологічних досліджень. Загальною рисою групи методів IDEF є використання власної достатньо складної графічної нотації та набір строгих формальних правил, що повинні виконуватись у процесі розробки;

- COMET (Concurrent Object Modeling and Architectural Design Method) [7]. Метод проектування паралельних додатків, в тому числі розподілених та реального часу. Процес розробки в COMET сумісний з уніфікованим процесом розробки ПЗ (USDP). Метод передбачає чотири етапи: моделювання функціональних вимог (Requirements Modeling), аналітичне моделювання (Analysis Modeling), архітектурне (імітаційне) моделювання (Design Modeling) та програмне моделювання (Program Modeling). Для представлення моделей застосовується нотація UML.

Проведений детальний аналіз наведених вище методів проектування систем керування мобільними роботами, з врахуванням вимог до розроблюваної системи, виявив, що у найбільш повній мірі задачі розробки подібних систем вирішує метод COMET. Він спеціально розроблений для реалізації розподілених та систем реального часу. У ньому поєднані об'єктно-орієнтовані та концепції паралельного виконання з використанням засобів уніфікованої мови моделювання. Метод COMET надає наступні переваги у порівнянні з іншими методами: підтримка темпоральних умов (формування умов, що посилаються на події в минулому, теперішньому, чи майбутньому); міжоб'єктний паралелізм (більше одного об'єкта може бути активним одночасно); внутрішньооб'єктний паралелізм (допускається одночасне існування двох чи більше потоків у одному об'єкті); використання широко розповсюджених CASE засобів UML.

Постановка задачі

Використовуючи метод COMET провести моделювання вимог до системи керування мобільним роботом, що вирішує задачу очищення обмеженої території від сторонніх об'єктів. Функціональні вимоги до системи представити в термінах акторів та прецедентів та провести їх аналіз. Розробити статичну модель системи керування автономним мобільним роботом.

Опис робототехнічної системи

Проектована робототехнічна система складається з наступних компонентів (рис. 1): обчислювальна система (ОС), відеокамера та мобільний робот. Для спрощення процесу отримання інформації про стан середовища, в якому оперує мобільний робот, прийнято рішення жорстко обмежити територію, яку слід очистити, та розташувати відеокамеру безпосередньо над нею. Таке рішення дозволило значно зменшити навантаження на модуль розпізнавання зображень, за рахунок переходу від тривимірного (у випадку розташування камери на мобільному роботі) до двовимірного зображення. Відеокамера передає отриманий відеопотік до обчислювальної системи. Інтерфейс каналу передачі відеопотоку залежить від типу використовуваної відеокамери та віддаленості її і мобільного робота від обчислювальної системи. В більшості випадків це USB, WiFi або Ethernet.

Обчислювальна система (ОС) – ядро розроблюваної робототехнічної системи. Всі рішення щодо пересування мобільного робота приймаються саме програмним забезпеченням обчислювальної системи. В якості ОС використовується персональний комп'ютер. В разі необхідності підвищити продуктивність, в якості ОС використовується потужніший сервер або кластер. Програмне забезпечення обчислювальної системи вирішує дві глобальні задачі – визначає стан області, що контролюється (модуль розпізнавання зображень, рис. 2) і генерує послідовність дій (команд) мобільного робота на основі даних про зміни стану області та поставлених задач (модуль керування).

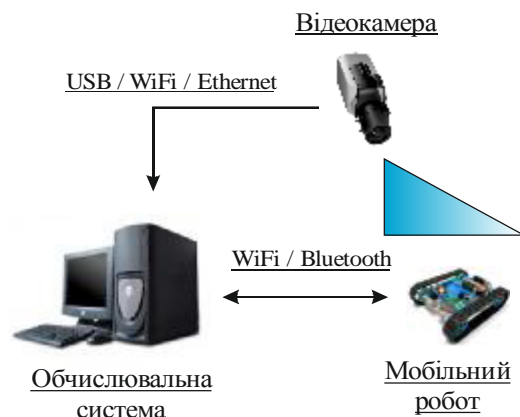


Рис. 1. Узагальнена структура робототехнічної системи



Рис. 2. Структура системи керування мобільним роботом

Вибір інтерфейсу взаємодії мобільного робота та ОС залежить від ступеня віддаленості та вимог щодо продуктивності каналу передачі даних. Серед можливих варіантів розглядалися WiFi, Bluetooth та LiWi.

Така організація системи керування мобільним роботом є досить універсальною, оскільки передбачає уніфікований інтерфейс взаємодії обчислювальної системи та робота, що дозволяє використовувати різні його фізичні реалізації. Обов'язковими вимогами до мобільного робота є наявність засобів контролю знаходження у активній області, засобів визначення наявності перешкоди за напрямом руху та засобів зв'язку з віддаленою обчислювальною системою.

Засоби контролю знаходження у заданій області передбачають можливість робота апаратно (без звернення до віддаленої системи керування) приймати рішення про зупинку виконання команд внаслідок імовірного перетину меж активної області. Наприклад, використання маркування області лінією чорного кольору. В такому випадку, засобами контролю будуть оптичні давачі напрямлені вниз (на поверхню).

Основна задача засобів визначення наявності перешкод за напрямком руху – уникати небажаних зіткнень мобільного робота з іншими об'єктами. Для цього можуть використовуватись фотоелементи, ультразвукові, інфрачервоні та інші давачі. Технологія прийняття рішень про зупинку виконання команд в даному випадку дещо складніша, оскільки контактна взаємодія з іншими об'єктами може бути передбачена задачею, яку виконує мобільний робот. Тому підхід до використання цих засобів визначається системою керування.

Для апробації проєктованої робототехнічної системи на кафедрі системного програмування Хмельницького національного університету розроблений мобільний робот (рисунок 3) з узагальненою структурою, представленою на рисунку 4.



Рис. 3. Реалізація мобільного робота

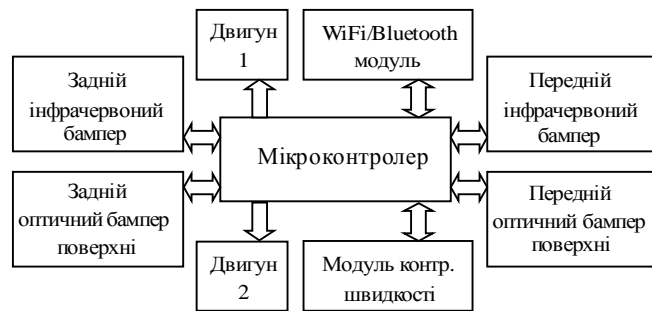


Рис. 4. Узагальнена структура мобільного робота

Модуль контролю швидкості складається з двох оптичних пар і призначений для можливості керування швидкістю обертів двигунів для їх синхронізації при реалізації руху прямо, а також для контролю кута повороту робота.

Передній та задній інфрачервоні бампери складаються з інфрачервоного випромінювача та пари приймачів. Використання двох приймачів дозволяє виявляти перешкоди не тільки безпосередньо перед платформою, але й ідентифікувати їх зліва або справа від платформи, що дозволяє оптимізувати алгоритми об'їзду перешкод.

Передній та задній оптичні бампери призначені для контролю поверхні. Залежно від умов експлуатації та налаштування давачів, оптичні бампери контролюють наявність поверхні під мобільним роботом (для уникнення падінь зі сходів, столу та таке ін.) або знаходження робота у заданій області, визначаючи колір поверхні.

Двигун 1 та двигун 2 використовуються для приведення у рух лівої та правої гусениць або коліс. Запропоновані апаратні рішення дозволяють використовувати різну фізичну реалізацію мобільних платформ. Зокрема, для апробації реалізовані мобільні роботи як на гусеничній так і на колісній платформах.

Етапи методу COMET

Першим етапом методу COMET є моделювання вимог (Requirements Modeling). На цьому етапі виконується збір та класифікація вимог до системи. Безпосереднє моделювання здійснюється у термінах акторів та прецедентів. Результатом виконання даного етапу є діаграма варіантів використання (use case diagram), що відображає функціональні вимоги до системи. Додатково формується словесний опис кожного з представлених прецедентів.

Наступним є етап аналітичного моделювання (Analysis Modeling) впродовж якого розробляються статична та динамічна моделі системи. Статична модель виконується в термінах класів (об'єктів) предметної галузі та задає структурні відношення між ними. Динамічна модель виконується в термінах взаємодії між об'єктами. Вона уточнює прецеденти представлені у моделі вимог, відображаючи об'єкти задіяні у кожному з прецедентів та їх взаємодію. Результатом розробки статичної моделі є системні діаграми контексту та об'єктні структурні діаграми. Динамічна модель представляється діаграмами кооперації чи послідовності.

Далі слідує етап архітектурного (імітаційного) моделювання (Design Modeling). Він виконується у термінах структури імітаційної моделі (класи та відношення між ними). На етапі архітектурного моделювання виконується об'єктна та почасова декомпозиція сутнісної моделі, формуються базові критерії розбиття системи на складові частини (підсистеми, модулі та ін.). Для послідовних систем виконується

акцент на об'єктно-орієнтовані концепції приховування інформації, класів та наслідування. При проектуванні паралельних, розподілених та систем реального часу, окрім об'єктно-орієнтованих концепцій, розглядаються концепції паралелізму.

Завершальним є етап програмного моделювання (Program Modeling), що виконується в термінах програмної моделі (атрибути і операції класів). На цьому етапі виконується трансляція опису системи з нотацій графічного і текстового опису моделей в нотацію конкретної мови програмування.

Моделювання вимог

Задачею, яку виконує мобільний робот є очищення певної обмеженої території. Під очищенням розуміється виштовхування роботом усіх об'єктів, що знаходяться в середні заданої зони за її межі. Кількість та місцезнаходження об'єктів довільні. Успішним виконанням задачі вважається ситуація, коли кількість об'єктів усередині заданої території дорівнює нулю. Базовий перелік функцій системи керування мобільним роботом містить:

- розпізнавання меж зони функціонування (визначення території для очищення);
- розпізнавання об'єктів у межах зони функціонування, що включає ідентифікацію рухомих та нерухомих об'єктів;
- визначення стратегій керування роботом;
- побудова маршрутів пересування робота;
- керування рухом мобільного робота.

Для відображення вимог до системи, згідно методу СОМЕТ, розроблено діаграму варіантів використання (Use Case Diagram) (рис. 5). Оскільки робот є автономним, у системі ідентифіковано лише два актори: *Camera* (відеокамера) та *Platform* (мобільний робот). Прецедент *Video_Processing* активується актором *Camera*, що відповідає за визначення меж заданої території, ідентифікацію об'єктів у ній та формування переліку ідентифікованих об'єктів. Прецедент *Control* є розширенням до *Video_Processing* та виконується лише при не порожньому переліку об'єктів у межах визначеної території. Він відображає функцію керування мобільним роботом, що передбачає: вибір стратегії керування, обчислення траєкторій руху, обробку команд руху та комунікацію з роботом. Під час виконання прецеденту, робот пересується по території та виконує її прибирання. Опис прецедентів *Video_Processing* та *Control* подано у таблиці 1.

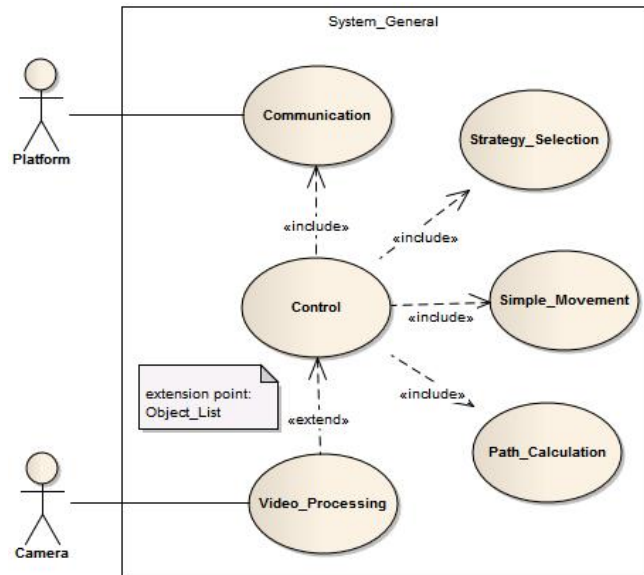


Рис. 5. Діаграма варіантів використання

Таблиця 1

Прецеденти Video_Processing та Control

Прецедент: Video_Processing	Прецедент: Control
ID: 1	ID: 2
Короткий опис: Обробка зображення з відеокамери	Короткий опис: Сегмент 1: виконує виштовхування об'єктів за межі визначеної території
Головні актори: Camera	Головні актори: Camera
Другорядні актори: Відсутні	Другорядні актори: Platform
Передумови: Отримано зображення з відеокамери	Сегмент 1 передумови: сформований перелік розпізнаних об'єктів
Основний потік: 1) ідентифікація заданої території на зображенні; 2) ідентифікація об'єктів на зображенні; 3) визначення центрів мас та меж об'єктів; 4) формування переліку ідентифікованих об'єктів; точка розширення: Object_List.	Потік сегменту 1: 1) обирається стратегія керування include (Strategy_Selection); 2) розраховується траєкторія руху include (Path_Processing); 3) виконується обробка команд для пересування за розрахованою траєкторією include (Simple_Movement); 4) комунікація з мобільним роботом include (Communication).
Постумови: Перелік ідентифікованих об'єктів	Постумови сегменту 1: усі розпізнані об'єкти виштовхані за межі визначеної зони

Результатом моделювання вимог системи керування мобільним роботом є отримана діаграма варіантів використання та словесний опис наведених прецедентів. Вимоги розпізнавання меж зони функціонування та розпізнавання об'єктів у межах цієї зони відображені прецедентом *Video_Processing*. Вимоги визначення стратегії керування, побудови маршрутів пересування та безпосереднього керування рухом робота представлені прецедентом *Control*. Отримана діаграма варіантів використання відображає усі визначені функційні вимоги до системи.

Аналітичне моделювання. Статична модель

Задача аналітичного моделювання полягає у визначенні зв'язків системи і зовнішнього середовища [8]. Опис статичної структури системи виконується шляхом розробки системної діаграми контексту. Системна діаграма контексту може бути визначена через моделювання зовнішніх класів, що взаємодіють з системою керування. Діаграма подана на рисунку 6.

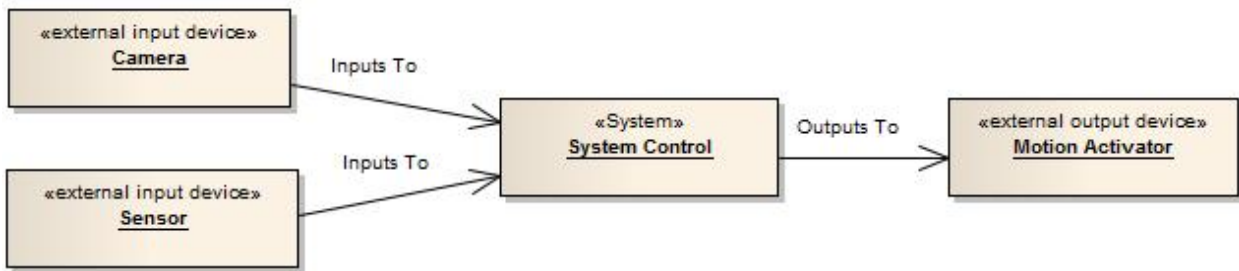


Рис. 6. Системна діаграма контексту

Вона відображає зв'язок системи керування мобільним роботом з зовнішніми класами. *System Control* отримує інформацію з датчиків, розміщених на платформі, та відеокамери, розміщеної над територією (*Camera* та *Sensor*). Команди керування рухом надсилаються роботу для активації руху (*Motion Activator*).

Наступним кроком є деталізація *System Control* до рівня об'єктів, що беруть участь у взаємодії. На структурній діаграмі відображені внутрішні об'єкти, ідентифіковані відповідно до критеріїв методу COMET (рис. 7).

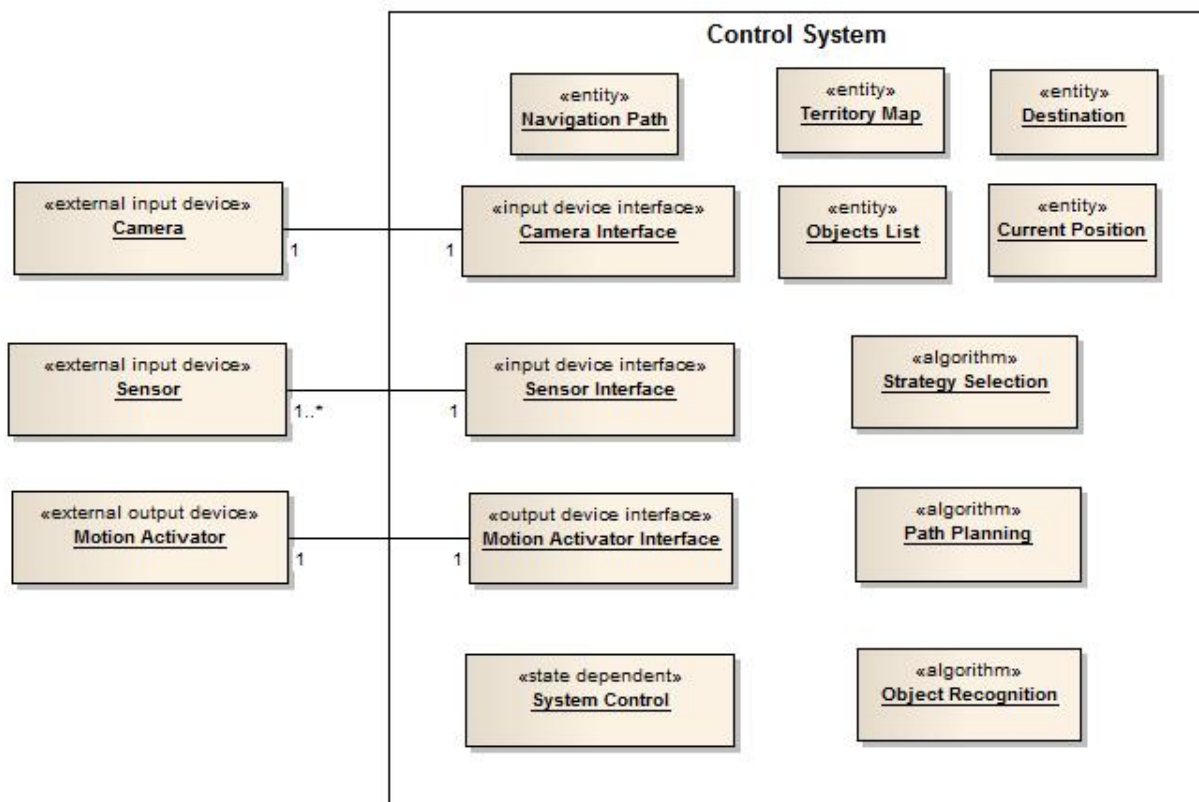


Рис. 7. Об'єктна структурна діаграма

Для взаємодії з зовнішніми класами *Camera*, *Sensor* та *Motion Activator* визначено три об'єкти інтерфейси: *Camera Interface*, *Sensor Interface* та *Motion Activator Interface*. Для зберігання ключових даних у системі передбачено п'ять сутностей, що відображають об'єкти: *Navigation Path* (шлях руху робота до цілі), *Territory Map* (представлення карти території), *Destination* (точка призначення руху робота), *Current Position*

(поточна позиція робота), *Objects List* (список ідентифікованих на території об'єктів). Система керування мобільним роботом повинна у реальному часі відслідковувати зміни у зовнішньому середовищі та керувати внутрішніми об'єктами, для чого необхідно реалізувати систему контролю стану *System Control*. Для цього необхідно реалізувати три основних алгоритми: *Strategy Selection* (інтелектуальна система вибору поведінки робота), *Path Planning* (розрахунок траєкторії руху робота) та *Object Recognition* (розпізнавання та ідентифікація об'єктів, розміщених в межах заданої території).

Представлена статична структура системи відображає внутрішні об'єкти та їх зв'язок з зовнішніми класами. Отримане рішення є першим етапом аналітичного моделювання, що забезпечує засоби для реалізації динамічного представлення системи.

Висновки

В результаті проведеного аналізу методів проектування визначено, що для реалізації системи керування мобільним роботом, який вирішує задачу очищення території, найбільш доцільно обрати метод СОМЕТ. Проведене моделювання вимог до системи керування розробленим мобільним роботом, доводить, що обраний метод дозволив врахувати всі поставлені вимоги.

Отримана в результаті проведення досліджень статична модель є основою для продовження процесу проектування системи керування мобільним роботом. Наступними кроками при проведенні досліджень у заданому напрямку є розроблення динамічної моделі системи керування мобільним роботом, проведення імітаційного та програмного моделювання.

Література

1. iRobot Create Open Interface Specification. iRobot Corporation. – 2006. – 25 p.
2. Patrick Lin Autonomous Military Robotics: Risk, Ethics, and Design / Patrick Lin, George Bekey, Keith Abney. – US Department of Navy. – 2008. – 108 p.
3. Ryan A. Beasley Medical Robots: Current Systems and Research Directions / Ryan A. Beasley // Journal of Robotics. Hindawi Publishing Corporation – 2012. – 14 p.
4. George Bekey International Assessment of Research and Development in Robotics / George Bekey, Robert Ambrose, Vijay Kumar, Art Sanderson, Brian Wilcox, Yuan Zheng. – World Technology Evaluation Center, Inc. – 2006. – 273 p.
5. Henric Christensen Cognitive Systems – From Internet to Robotics / Henric Christensen. – European Research Consortium for Informatics and Mathematics, № 84. – 2011. pp. 14-15.
6. Робототехника. Терминология / под редакцией Е.П. Попова: Российская академия наук. Комитет научной терминологии в области фундаментальных наук. – М., 2000. – 47 с.
7. Minseong Kim UML-based service robot software development: a case study / Minseong Kim, Suntae Kim, Mun-taek Choi, Munsang Kim, Hassan Goma // International Conference on Software Engineering – ICSE, 2006. – pp. 534-543.
8. Х. Гома. UML Проектирование систем реального времени, распределенных и параллельных приложений / Хассан Гома. – ДМК Пресс, 2002. – 704 с.

Надійшла 22.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Поморова О.В.

ВИКОРИСТАННЯ СМАРТ-КАРТ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В даній статті обґрунтовується доцільність використання смарт-карт для ідентифікації користувачів під час доступу до інформаційних систем. Також показана можливість використання корпоративних ІТ-систем з інфраструктурою відкритих ключів РКІ на базі алгоритму RSA.

Ключові слова: смарт-карта, інформаційні технології, інформаційні системи, РКІ-система, метод RSA.

OLEG SHYNKARUK, OXANA YASHYNA

Khmelnytsky National University

USE OF SMART CARDS FOR IDENTIFICATION OF USERS OF INFORMATION SYSTEMS

Abstract – In this article the feasibility of using smart- cards for users identification during access to information systems has been analysed. Also, the possibility of the use of corporate IT- systems with public key infrastructure PKI - based algorithm RSA has been discussed.

Keywords: smart card, information technology, information systems, PKI system, the RSA method.

Постановка задачі

Інформаційні технології застосовуються практично у всіх сферах економіки. Маленькі фірми та корпорації впроваджують у себе комп'ютерну техніку та створюють інформаційну інфраструктуру. Із збільшенням об'єму даних постає питання про їх безпечне зберігання, використання, обмін та ін. Однак найактуальнішим залишається завдання контролю доступу до цих даних. На ринку апаратно-програмного забезпечення найбільшим попитом, завдяки своїй доступності за рівнем цін, як правило користуються засоби, що потребують використання паролів для ідентифікації користувачів. З точки зору питань безпеки використання паролів втрачає свій сенс, оскільки часто трапляється, що працівники записують їх на папірцях, які лежать на робочих столах або приклеєні до моніторів. Це підвищує ймовірність крадіжки конфіденційної інформації, або створює умови для порушення доступу до даних. Крім того, важливо зауважити, що паролі, як єдиний механізм ідентифікації, цілком нормальні, якщо довжина пароля становить більше 15 символів і включає комбінацію цифр, літер у різних регістрах та літер із іншого алфавіту (не латинських), спеціальні символи. Ключові фрази є прикладами надійних паролів, які користувачам простіше запам'ятовувати. Це дозволяє бути впевненим в тому, що більшість атак не увінчаються успіхом саме завдяки доданій складності, якої надають «іноземні» символи [1].

Ще однією причиною, неефективності паролів як єдиного механізму ідентифікації, є невміння користувачами правильно підбирати і запам'ятовувати гарні, надійні паролі. До того ж паролі найчастіше не захищаються належним чином. Тому витік і слабкість паролів стає серйозною проблемою для ІТ-адміністраторів та відповідальних за інформаційну безпеку.

Однак, існують такі ІТ-рішення, які передбачають використання коротких, легких для запам'ятовування паролів, сприяючи підвищенню безпеки та зручності. На сьогоднішній день у економічно розвинених країнах найбільш розповсюдженим засобом ідентифікації користувачів є застосування смарт-карт, роль яких в корпоративній ІТ-безпеці останнім часом суттєво зросла. В Україні ж застосування смарт-технологій розвивається надзвичайно повільно, оскільки потребує значних капіталовкладень. Разом з тим застосування смарт-карт сприяє підвищенню рівня безпеки будь-якого підприємства чи організації, що в свою чергу не може не впливати на високу конкурентоздатність. **Метою статті** є визначення теоретичних аспектів застосування смарт-карт в торгівельних мережах для ідентифікації працівників.

Аналіз досліджень та публікацій

Методологічною основою нашого дослідження стали праці Фороузана Б. А., Шнайера Б. та інших. Деякими аспектами застосування смарт-технологій займалися такі російські вчені як Шорін Д. В., Шкурко М.І., Борисенко О. В., Стасенко Л., Куліков А.Л. Загалом же в теперішній час виконується велика кількість різноманітних досліджень, присвячених застосуванню інформаційних технологій в розв'язанні економічних, соціальних та інших задач. Однак, наукових робіт, присвячених застосуванню смарт-технологій для ідентифікації користувачів інформаційних систем недостатньо, що і обумовило виявлення до цього питання підвищеного наукового та практичного інтересу.

Вклад основного матеріалу

Можливості, які зараз пропонують карткові технології, не обмежуються тільки доступом в приміщення (Physical Access). Крім цього, карти можна використовувати для організації логічного доступу до даних (Logical Access), електронного цифрового підпису, персональної ідентифікації, для зберігання захищених даних [2].

У загальному випадку, систему авторизації в корпоративних системах можна будувати на двох принципах: на основі «логін-пароль» і на основі цифрових сертифікатів. Смарт-карти можна застосовувати і в тому, і в іншому випадку.

На нашу думку в торгівельних мережах доцільним є застосування корпоративних ІТ-систем, що засновані на цифрових сертифікатах та інфраструктурі відкритих ключів (РКІ). Зупинимося на них

детальніше.

Використання цифрових сертифікатів і криптографічних смарт-карт в корпоративних інформаційних системах дозволяє здійснювати так звану строгу двофакторну авторизацію. Авторизація називається двофакторною тому, що в процесі аутентифікації (підтвердження особистості користувача) одночасно використовується дві ознаки персони: предмет, яким володіє тільки даний користувач (персональна смарт-карта) та інформація, якою володіє тільки він (PIN-код для доступу до карти). Тільки при наявності та збігу цих ознак користувач може увійти в корпоративну інформаційну систему. Суворо двофакторна ідентифікація є, на нашу думку, найбезпечнішим способом авторизації в корпоративному середовищі. Пароля в таких системах просто не існує, відповідно, його неможливо вкрасти [2].

Застосування РКІ-системи доцільно застосовувати на базі алгоритму RSA, оскільки такі системи підтримують всі ОС і додатки. До того ж, подібні системи досить просто впроваджувати і використовувати.

Алгоритм RSA ґрунтується на виразах зі степенями [5]. Відкритий текст шифрується блоками, кожен з яких містить двійкове значення, менше деякого заданого числа n . Це означає, що довжина блоку повинна бути менше або дорівнює $\log_2(n)$. На практиці довжина блоку вибирається рівною 2^k бітам, де $2^k < n \leq 2^{k+1}$. Шифрування й дешифрування для блоку відкритого тексту M і блоку шифрованого тексту C можна представити у вигляді наступних формул:

$$C = M^e \bmod n, \quad M = C^d \bmod n = (M^e)^d \bmod n = M^{ed} \bmod n.$$

Як відправник, так і одержувач повинні знати значення n . Відправник знає значення e , і лише одержувачу відомо значення d . Таким чином, дана схема є алгоритмом шифрування з відкритим ключем $KU = \{e, n\}$ і особистим ключем $KR = \{d, n\}$. Щоб цей алгоритм міг використовуватися для шифрування з відкритим ключем, повинні бути виконані наступні вимоги.

1. Повинні існувати такі значення e , d і n , що $M^{ed} = M \bmod n$ для всіх $M < n$.
2. Повинні відносно легко обчислюватись M^e і C^d для всіх значень $M < n$.
3. Повинно бути практично неможливо визначити d за наявними e та n .

Знайдемо співвідношення виду:

$$M^{ed} = M \bmod n$$

Тут найкраще підійде наслідок теореми Ейлера: для таких будь-яких двох простих чисел p і q та будь-яких двох цілих чисел n і m , що $n = pq$ і $0 < m < n$, і довільного цілого числа k виконуються наступні співвідношення:

$$m^{k\phi(n)+1} = m^{k(p-1)(q-1)+1} \equiv m \bmod n,$$

де $\phi(n)$ є функцією Ейлера, значення якої дорівнює числу додатних цілих чисел, менших n і взаємно простих з n . У випадку простих p і q маємо $\phi(pq) = (p-1)(q-1)$.

Тому необхідне співвідношення виходить за умови:

$$ed = k\phi(n) + 1.$$

Що еквівалентно наступним співвідношенням:

$$ed \equiv 1 \bmod \phi(n), \quad d \equiv e^{-1} \bmod \phi(n).$$

Тобто e і d є взаємно зворотними по модулю $\phi(n)$. Зверніть увагу, що у відповідності з правилами арифметики в класах розрахунків, це може мати місце тільки тоді, коли d (а отже, і e) є взаємно простим з $\phi(n)$. У еквівалентному записі $\gcd(\phi(n), d) = 1$.

Тепер у нас є все, щоб представити схему RSA. Компонентами схеми це:

$$\begin{aligned} p \text{ і } q & - \text{ два простих числа} && (\text{секретні, вибираються}), \\ n = pq & && (\text{відкрите, обчислюється}), \\ \text{Таке } \gcd(\phi(n), d) = 1, \quad 1 < e, \phi(n), & && (\text{відкрите, вибирається}), \\ d \equiv e^{-1} \bmod \phi(n) & && (\text{секретне, обчислюється}). \end{aligned}$$

Особистий ключ складається з $\{d, n\}$, а відкритий – з $\{e, n\}$. Припустимо, що користувач А опублікував свій відкритий ключ і тепер користувач В збирається переслати йому повідомлення M . Тоді користувач В обчислює $C = M^e \bmod n$, і пересилає C . отримавши цей шифрований текст, користувач А дешифрує його, обчислюючи $M = C^d \bmod n$.

Має сенс навести тут обґрунтування цього алгоритму. Ми вибрали e і d такі, що $d \equiv e^{-1} \bmod \phi(n)$.

Таким чином, $ed \equiv 1 \bmod \phi(n)$. Значить, ed має вигляд $k\phi(n) + 1$. Але за наслідком теореми Ейлера, для таких будь-яких двох простих чисел p і q і цілих чисел $n = pq$ і M , що $0 < M < n$, виконуються співвідношення:

$$M^{k\phi(n)+1} = M^{k(p-1)(q-1)+1} \equiv M \bmod n,$$

Тому $M^{ed} = M \pmod n$. Тепер ми отримали:

$$M = C^d \pmod n. \text{ та } M = C^d \pmod n = (M^e)^d \pmod n = M^{ed} \pmod n.$$

Криптостійкість алгоритму RSA заснована на припущенні, що виключно важко визначити секретний ключ по відомому, оскільки для цього необхідно розв'язати задачу про існування дільників цілого числа. Дана задача є NP-повною. Відомі точні алгоритми для розв'язку даної задачі мають експоненціальну оцінку обчислювальної важкості, внаслідок чого неможливо отримати точні розв'язки для задач великої чи то навіть середньої розмірності. Більше того, саме питання існування ефективних алгоритмів розв'язку NP-повних задач дотепер є відкритим. В зв'язку з цим для чисел, що складаються з 200 цифр (а саме такі числа рекомендується використовувати), традиційні методи потребують виконання великої кількості числа операцій (близько 10^{23}).

Оцінка складності задачі дискретного логарифмування в залежності від довжини двійкового запису простого числа P (при правильному його виборі) приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Оцінка складності задачі дискретного логарифмування

Довжина P (в бітах)	Складність визначення ключа x	Пам'ять, що використовується алгоритмом (в бітах)	Час розв'язку задачі на комп'ютері типу 10^9 оп/с
128	$2 \cdot 10^{12}$	$7 \cdot 10^6$	Декілька хвилин
200	10^{16}	10^8	Декілька місяців
256	$9 \cdot 10^{17}$	10^9	Декілька десятків років
512	$4 \cdot 10^{24}$	$3 \cdot 10^{12}$	Більше 100 років безперервної роботи
1024	10^{34}	10^{17}	
1500	10^{41}	$8 \cdot 10^{20}$	
2000	$7 \cdot 10^{47}$	10^{24}	
2200	10^{50}	10^{25}	

Всі асиметричні криптосистеми намагаються зламати шляхом прямого перебору ключів. Тому в асиметричних криптосистемах використовують довгі ключі. Для забезпечення еквівалентного рівня захисту ключ асиметричної криптосистеми повинен бути набагато довший ключа симетричної криптосистеми. Це одразу ж позначається на обчислювальних ресурсах, що потребуються для шифрування.

Для того щоб уникнути низької швидкості алгоритмів асиметричного шифрування, генерується тимчасовий симетричний ключ для кожного повідомлення і тільки він шифрується асиметричними алгоритмами.

Отже, в асиметричних криптосистемах важливо, щоб сеансові і асиметричні ключі були порівнянні відносно рівня безпеки, який вони забезпечують. Асиметричні відкриті ключі уразливі до атак прямим перебором якраз через те, що їх важко замінити. Якщо атакуючий дізнається секретний асиметричний ключ, то буде скомпрометовано не тільки поточна, але й всі наступні взаємодії між відправником і одержувачем. Тому алгоритм RSA є найбільш надійним для захисту інформації, а отже ідентифікації користувача і ми вважаємо за доцільне використання даного алгоритму під час використання смарт-карток в цілях збереження конфіденційності інформації.

Висновки

Як правило у торговельних мережах працює велика кількість людей, які в силу своїх обов'язків повинні мати доступ до конфіденційної інформації. Однак, переважна більшість працівників не вміє підбирати і не може запам'ятовувати велику кількість паролів, які необхідні для доступу до інформаційної системи того чи іншого супермаркету.

Отже, рішенням проблеми, на нашу думку, є використання технологій, що дозволяють використовувати смарт-карти, які засновані на інфраструктурі відкритих ключів. В зв'язку із тим, що інформація, розміщена на смарт-картах шифрується за допомогою методів криптографії, забезпечується висока надійність та захищеність даних.

Література

1. <http://www.winsecurity.ru/articles/multifactor-authentication-windows-part1.html>
2. http://www.isbc.com/_about/news_/type_2/section_322/show_192/
3. Б. А. Фороузан. Математика криптографии и теория шифрования информация. Режим доступа – <http://www.intuit.ru/departament/security/mathcryptet/14/3.html>.
4. Шнайер Б. Прикладная криптография. – М.: Триумф, 2003. – 815 с.
5. ftp://ftp.rsasecurity.com/pub/rsalabs/rsa_algorithm/rsa-oeap_spec.pdf

Надійшла 17.1.2013 р.

Статтю представляє: д.т.н. Шинкарук О.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДОМИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Автором статті проведено дослідження моделей надійності, складності та якості програмного забезпечення, а також критеріїв вибору моделей для конкретного програмного забезпечення.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), моделі якості програмного забезпечення, моделі складності програмного забезпечення, моделі надійності програмного забезпечення, критерії вибору моделей.

Author conducted the research of software reliability, complexity and quality models, and the criteria of selection of the models for a particular software.

Keywords: software (SW), model of software quality, model of software complexity, model of software reliability, selection criteria model.

Вступ

До характеристик ПЗ належать: вартість ПЗ, захист ПЗ, повнота реалізації вимог, обсяг файлів ПЗ, вимоги до системного програмного забезпечення та технічних засобів, обсяг потрібної оперативної та дискової пам'яті. Але безумовно наважливішими характеристиками ПЗ є його надійність, складність та якість.

Надійність ПЗ - це властивість програми виконувати задані функції в заданих умовах роботи і на заданій ЕОМ [1]. За імовірнісним підходом під надійністю розуміють імовірність того, що при функціонуванні системи протягом певного часу не буде виявлено помилок. Проте тут не враховано відмінність між помилками різних типів. Надійність ПЗ краще розглядати з точки зору впливу помилок на користувача системи. Усе залежить від того, на якому етапі (розроблення чи експлуатація) і в якому компоненті припущено помилку. Згідно стандарту [2], *надійність ПЗ* рекомендується характеризувати рівнем завершеності, стійкістю до помилок та можливістю перезапуску. Згідно стандарту [3], *надійність ПЗ* - сукупність властивостей, яка характеризує здатність програмного засобу зберігати заданий рівень придатності в заданих умовах протягом заданого інтервалу часу. Отже, надійність ПЗ є показником якості, який характеризує властивість ПЗ виявляти в процесі експлуатації помилки, що залишилися в ньому, за певної сукупності початкових даних [1].

Складність ПЗ включає в себе численні властивості програмного забезпечення, які впливають на внутрішні взаємодії. *Програмна складність* характеризується довжиною програми або обсягом пам'яті ЕОМ, необхідної для розміщення ПЗ. Можна оцінити *складність* часом виконання програми для великого вхідного аргумента [4]. Складність ПЗ визначається: складністю реального світу; складністю керування процесом розроблення; гнучкістю програмного забезпечення; складністю опису поведінки систем.

Якість ПЗ - це характеристика ПЗ, яка відображає ступінь його відповідності вимогам. При цьому вимоги можуть трактуватись досить широко, що породжує цілий ряд незалежних визначень поняття якості. Згідно визначення ISO [5], якість - це ступінь відповідності присутніх характеристик вимогам. Згідно [6], якість - це повнота властивостей і характеристик продукту, процесу або послуги, які забезпечують здатність задовольняти оголошеним або передбачуваним потребам. Згідно [7], якість ПЗ - це ступінь, в якій воно володіє потрібною комбінацією властивостей. Згідно [3], якість програмного засобу - це сукупність властивостей програмного засобу, які обумовлюють його придатність задовольняти задані або передбачувані потреби у відповідності до його призначення. Стандарт [8] дає наступне визначення якості ПЗ - весь обсяг ознак та характеристик програмної продукції, який належить до її здатності задовольняти встановлені потреби.

Саме моделюванню та визначенню надійності, складності та якості ПЗ і присвячено дану статтю.

1. Моделі надійності програмного забезпечення

Модель надійності ПЗ - це математична модель, побудована для оцінювання залежності надійності ПЗ від деяких певних параметрів [9]. Значення таких параметрів або відомі, або можуть бути виміряні під час спостережень або експериментального дослідження процесу функціонування ПЗ. Термін "модель надійності ПЗ" може бути також використаний застосовно до математичної залежності між певними параметрами, які хоча й мають відношення до оцінки надійності ПЗ, але не містять її характеристик в явному вигляді. Наприклад, поведінка деякої гілки ПЗ на підмножині наборів вхідних даних, за допомогою яких ця гілка контролюється, істотно пов'язана з надійністю ПЗ, однак характеристики цієї поведінки можуть бути оцінені незалежно від оцінки самої надійності. Іншим параметром є частота помилок, яка дозволяє оцінити якість систем реального часу і в той же час одержувати лише непряму інформацію відносно надійності ПЗ.

Одним з видів моделі надійності ПЗ, яка заслуговує особливої уваги є так звана феноменологічна або емпірична модель [9]. При розробленні таких моделей вважається, що зв'язок між надійністю та іншими параметрами - статичний. За допомогою таких моделей слід намагатись оцінити кількісно ті характеристики

ПЗ, які свідчать про високу або низьку його надійність. Наприклад, параметр "складність ПЗ" характеризує ступінь зменшення рівня його надійності, адже складність ПЗ завжди призводить до помилок.

Моделі надійності програмного забезпечення (МНПЗ) поділяються на аналітичні та емпіричні [9]. Аналітичні моделі дають змогу розрахувати кількісні показники надійності, базуючись на даних про поведінку ПЗ в процесі тестування (моделі вимірювання та оцінювання). Емпіричні моделі базуються на аналізі структурних особливостей програм. Розвиток емпіричних моделей дозволяє виявляти взаємозв'язок між складністю ПЗ та його надійністю. Ці моделі можна використовувати на етапі проектування ПЗ, коли виконане розбиття на модулі та відома структура ПЗ. Класифікація моделей надійності ПЗ наведена на рис.1.

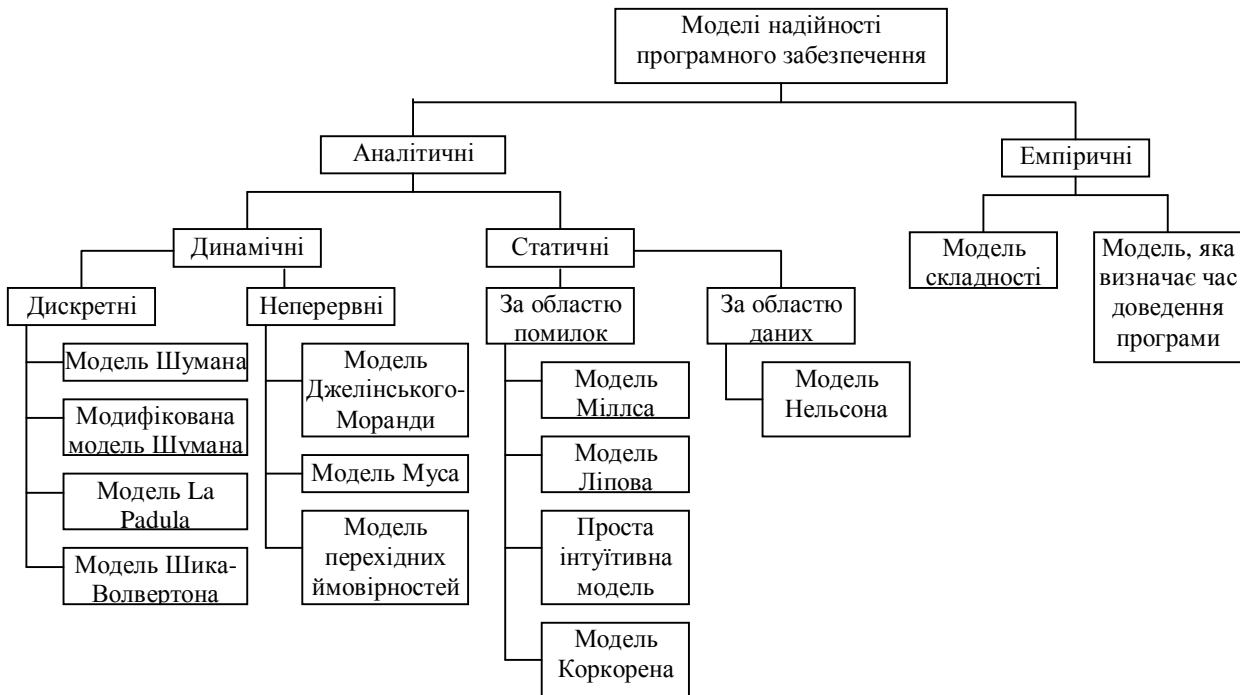


Рис.1. Класифікація моделей надійності програмного забезпечення

Проблема вибору моделей надійності для використання на етапі експлуатації і супроводу ПЗ практично не досліджена. Причинами цього є велика кількість моделей та недостатній рівень вивчення особливостей їх використання.

2. Моделі складності програмного забезпечення

Основні види складності ПЗ наведено на рис.2.

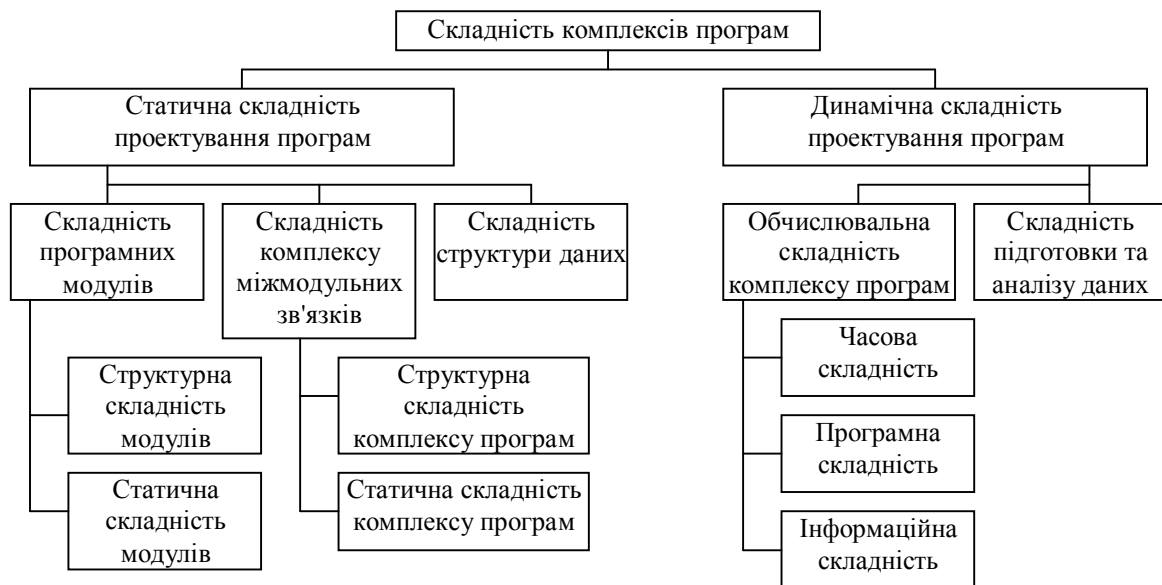


Рис. 2. Основні види складності програмного забезпечення

Емпіричні правила для оцінки складності алгоритму [4]: асимптотична складність - описується час

виконання алгоритму з точки зору кількості основних кроків; якщо час виконання є сумою мультиплікативних факторів, то враховується один з більшою швидкістю зростання; якщо останні терми є добутком, то будь-які мультиплікативні фактори не враховуються; використовується нотація $\text{big } O$ для верхньої границі асимптотичного зростання функції.

Класи складності алгоритмів (в порядку зростання складності) [4]: $O(1)$ - постійна складність; $O(\log n)$ - логарифмічна складність; $O(n)$ - лінійна складність; $O(n \log n)$ - логарифмічно-лінійна складність; $O(n^c)$, де $c = \text{const}$ - поліноміальна складність; $O(c^n)$, де $c = \text{const}$, яка зростає як степінь на основі розміру входів - експоненційна складність.

Моделі складності ПЗ засновані на гіпотезі, що рівень безпомилковості ПЗ може бути спрогнозований за допомогою показників (метрик) складності ПЗ [7]. Детально метрики складності та їх ефективність розглядалися автором у [10]. В якості аргументів моделей використовуються метрики складності ПЗ. Класифікацію моделей визначення складності ПЗ можна представити у наступному вигляді (рис.3).

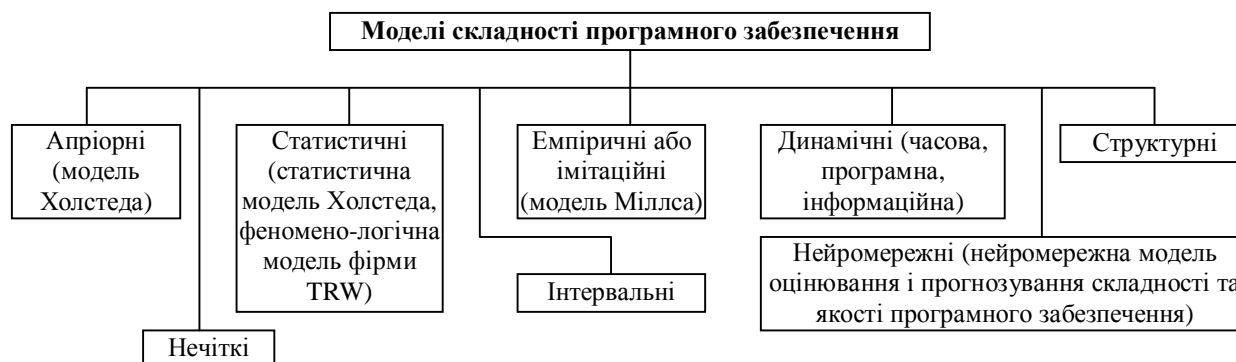


Рис.3. Класифікація моделей складності програмного забезпечення

Найбільш відомою *априорною моделлю* складності ПЗ є модель *Холстеда* (Halstead) [11]. До простих *статистичних моделей* складності належить *феноменологічна модель фірми TRW* [12]. До недоліків багатофакторних моделей належить можливість одержання ефекту "прокляття розмірності" [11] при великій кількості факторів або нелінійному вигляді апроксимуючого полінома. *Емпіричні (імітаційні) моделі* [13] базуються на аналізі структурних особливостей програмного забезпечення. Такі моделі часто не дають кінцевих результатів показників складності, якості та надійності, але їх використання на етапі проектування ПЗ корисне для прогнозування потрібних ресурсів тестування, уточнення планових термінів завершення проекту і т.і. Для складних модулів та для великих багатомодульних програм складається *імітаційна модель*, програма якої "засівається" помилками і тестується за випадковими входами. Недоліками такої моделі є висока вартість методу, оскільки він вимагає додаткових витрат на складання імітаційної моделі, і наближений характер одержаних показників. *Динамічна (або обчислювальна) складність* характеризує процес виконання програми і має три складових [14]: 1) часова - визначається часом виконання програми або часом її реакції на запит користувача; 2) програмна - визначається складом та способом взаємодії процедур або модулів, які утворюють програму, а також можливістю їх розташування в кеш-пам'яті, основній пам'яті або на диску, а у випадку розподілених додатків - розташуванням програми на комп'ютерах мережі; 3) інформаційна - визначається складністю організації даних та доступу до них, а також особливостями їх розташування в кеш-пам'яті, основній пам'яті, на диску або на мережевому сервері. Крім розглянутих моделей існують також структурні моделі, нечіткі моделі, інтервальні моделі складності ПЗ, а також нейронні мережі, які застосовуються для розв'язку задачі оцінювання складності ПЗ в окремих випадках [15].

Для вибору потрібної моделі використовуються якісні та кількісні критерії [11]. *Якісні критерії*: 1) простота використання; 2) достовірність; 3) застосовність для розв'язку різних задач; 4) простота реалізації.

Кількісні критерії: 1) показники точності оцінювання; 2) показники якості прогнозуючих моделей (збіжність, стійкість, точність прогнозу, узгодженість); 3) інформаційні критерії якості прогнозуючих моделей (розмірність, критерії BIC/AIC); 4) комбіновані та інтегральні показники.

Дослідження показало, що існує велика кількість математичних моделей складності ПЗ, які дозволяють одержати оцінки показників технологічної безпеки ПЗ на різних етапах життєвого циклу, що важливо при плануванні витрат на інформаційну безпеку. Розглянута класифікація моделей дозволяє на практиці зорієнтуватись при виборі моделей в залежності від одержаної статистики.

3. Моделі якості програмного забезпечення

Основним стандартом якості в області інженерії ПЗ є стандарт [16], який визначає номенклатуру, атрибути і метрики вимог якості ПЗ. Цей стандарт є одним з визначальних факторів при моделюванні якості ПЗ. На додаток до нього випущено набір стандартів [17], які регламентують способи оцінки цих характеристик. В сукупності вони утворюють *модель якості*, відому під назвою *SQuaRE* (Software Quality Requirements and Evaluation). Загальний підхід до моделювання якості програмного забезпечення полягає у

тому, щоб спочатку ідентифікувати невеликий набір атрибутів якості найвищого рівня абстракції та потім у напрямку "згори-донизу" розбити ці атрибути на набори підлеглих атрибутів. Нижній рівень ієрархії представляє собою безпосередньо атрибути ПЗ, які підлягають точному опису та вимірюванню. Вимоги якості в свою чергу можуть бути представлені як обмеження на модель якості.

Модель якості SQaRE та її основні характеристики якості за стандартом [16] представлена на рис.4.

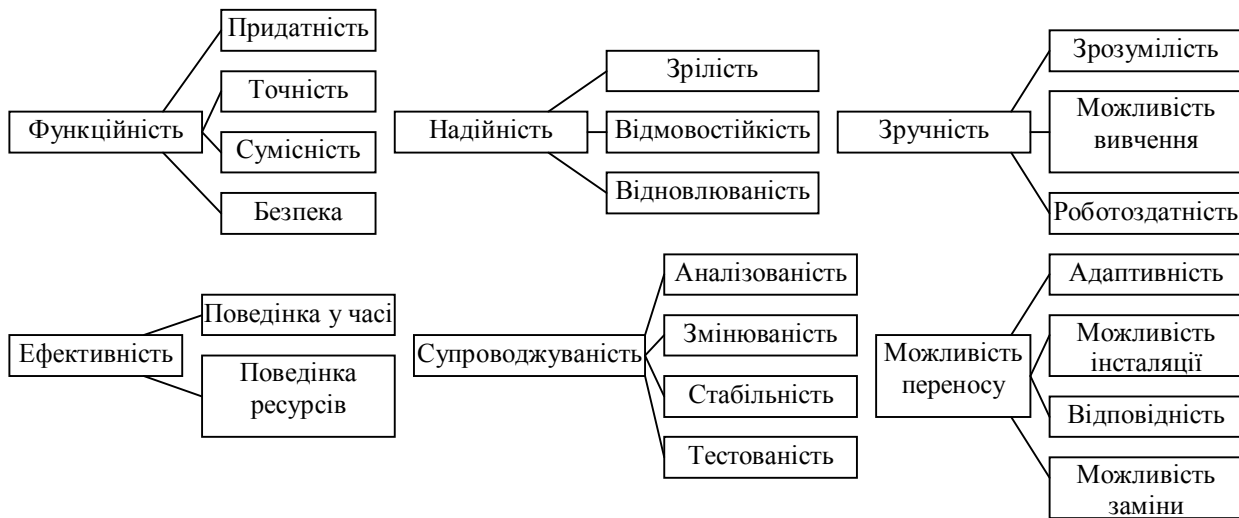


Рис.4. Модель якості ПЗ за стандартом ISO/IEC 25010:2011

На сьогодні в галузі забезпечення якості ПЗ створено цілу низку нових стандартів та методологій (Capability Maturity Model (CMM), ISO/IEC 15504 (SPICE), Bootstrap, Trillium, ISO 12207).

Для визначення загального рівня розвитку технологічних процесів в програмних організаціях розробили спеціальну систему оцінки зрілості технологічних процесів в софтверних організаціях - *модель Capability Maturity Model (CMM)*, засновану на так званих рівнях зрілості (maturity levels) [18]. Модель CMM має п'ять рівнів зрілості, і кожен з них характеризує певний ступінь якості програмних продуктів [18]: 1) початковий - відсутнє стабільне середовище розробки і супроводження; не витримуються терміни випуску продуктів; всі сили спрямовано на кодування і тестування програми (75% софтверних організацій); 2) повторюваний - жорстке керування, планування і контроль; акцент робиться на початкові вимоги, методи оцінки і конфігураційний менеджмент (15%); 3) фіксований - процеси повністю документовані, стандартизовані і інтегровані в єдиний технологічний потік (8%); 4) керований - намагання оцінити якість процесів і готового продукту кількісно; для контролю над процесами використовуються метрики (1.5%); 5) оптимізований - намагання покращення роботи, керуючись кількісними критеріями якості; основна мета - випуск бездефектних продуктів, в яких помилки усунені ще на стадії внутрішнього тестування (0.5%).

Модель SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination) [19] створено ISO як єдиний стандарт оцінки програмних процесів. SPICE нагадує CMM. Основною задачею софтверної організації теж є постійне покращення процесу розробки ПЗ, також використовується схема з різними рівнями можливостей (в SPICE визначено 6 різних рівнів), але ці рівні застосовуються не лише до організації в цілому, але й до окремо взятих процесів. Однією з переваг SPICE є його вільне поширення на офіційному сайті SPICE - [20].

В останні роки запропонований та розвивається так званий "*мовно-орієнтовний підхід (МОП) до вимірювань та оцінки ПЗ*", який дозволяє створювати автоматичні, засновані на знаннях, програмні технології оцінки ПЗ, що базуються на однозначному, "прозорому" та семантично коректному описі понять прикладної області "якість програмного забезпечення" [21]. МОП підтримує всі відомі стандарти, моделі і метрики програмного забезпечення.

Висновки

В ході дослідження моделей надійності, складності та якості програмного забезпечення автором виявлено наступні проблеми: 1) недослідженість моделей надійності ПЗ для використання на етапі проектування ПЗ; 2) недостатній рівень вивчення особливостей використання моделей надійності ПЗ; 3) відсутність критеріїв вибору моделей складності ПЗ на етапі проектування; 4) неможливість висунення до моделей складності ПЗ високих вимог щодо точності через їх динамічність, складність та різноманітність; 5) інтуїтивний характер моделей складності ПЗ при прийнятті рішень по плануванню тестування ПЗ на всій множині вхідних даних; 6) ґрунтування моделей складності ПЗ на гіпотезі, що рівень безпомилковості ПЗ може бути спрогнозований за допомогою метрик складності ПЗ, для яких: відсутні єдині стандарти, існує проблема складності інтерпретації величин, рівень автоматизації аналізу та опрацювання на етапі проектування залишається низьким; 7) технологія вимірювання якості ще не досягла зрілості - лише 1.5% софтверних організацій намагаються оцінити якість процесів і готового продукту кількісно, за допомогою метрик, тобто знаходяться на керованому рівні моделі CMM, і лише 0.5% софтверних організацій намагаються

покращити роботу, керуючись кількісними критеріями якості з метою випуску бездефектних продуктів, тобто знаходяться на оптимізованому рівні моделі CMM; 8) недостатня деталізованість стандартів серії ISO 9000 та моделі SQuaRE, можливість різних трактувань стандарту та моделі в залежності від уявлень аудитора; 9) неточність оцінки якості процесів за моделлю SQuaRE, задіяних при створенні та впровадженні ПЗ; 10) відсутність у моделі SQuaRE механізмів, які сприяють покращенню існуючих процесів; 11) модель CMM є власністю Software Engineering Institute (SEI) і не є загальнодоступною, тому подальша розробка моделі ведеться без залучення програмістської спільноти, причому оцінка якості процесів організацій за моделлю CMM може проводитись лише спеціалістами, які пройшли спеціальне навчання та акредитовані SEI; 12) модель CMM орієнтована на застосування у відносно великих софтверних компаніях.

Саме через невирішеність цих питань поки що неможливо бути впевненими у вірному виборі моделей надійності, складності та якості програмного забезпечення на етапі проектування, тобто одержати точні оцінки надійності, складності та якості проекту та розроблюваного за проектом програмного забезпечення.

Перспективним напрямком подальших досліджень у галузі моделювання оцінювання характеристик програмного забезпечення є розроблення критеріїв вибору моделей надійності, складності та якості програмного забезпечення на етапі проектування.

Література

1. Говорущенко Тетяна Олександрівна. Підвищення достовірності процесу тестування програмних продуктів на основі нейромережних інформаційних технологій: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Говорущенко Тетяна Олександрівна. - Хмельницький, 2007. - 186 с.
2. DTS-пакеты // [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://cadmium.ru/content/view/1514/50>
3. ГОСТ 28806-90. Качество программных средств. Термины и определения. // [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://vsegost.com/Catalog/10/10605.shtml>
4. MITx: 6.00x Introduction to Computer Science and Programming: A Simplistic Introduction to Algorithmic Complexity // [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://www.edx.org/courses/MITx/6.00x/2012_Fall/book/0
5. ISO 9001:1994 Quality systems - Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing
6. ISO 8402:1994 Quality management and quality assurance
7. IEEE Std. 1061-1998 IEEE Computer Society: Standard for Software Quality Metrics Methodology, 1998
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению
9. Благодатских В.А. Стандартизация разработки программных средств: Учебное пособие / В.А.Благодатских, В.А.Волнин, К.Ф.Посакалов. - М.: Финансы и статистика, 2005. - 288 с.
10. Говорущенко Т.О. Оцінювання ефективності метрик складності програмного забезпечення / Т.О. Говорущенко, А.В. Бачинський // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2012 - №2, с.171-179
11. Марков А.С. Модели оценки и планирования испытаний программных средств по требованиям безопасности информации / А.С. Марков // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение», 2011. Специальный выпуск «Технические средства и системы защиты информации» - с. 90-103
12. Тейер Т. Надежность программного обеспечения. / Т. Тейер, М. Липов, Э. Нельсон - М.: Мир, 1981 - 326 с.
13. Эмпирические модели надежности программного обеспечения // [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://info-tehnologii.ru/kac_sr/Mod_nad/Emp_mod/index.html
14. Метрология программного обеспечения // [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.studfiles.ru/dir/cat32/subj118/file1716/view2581.html>
15. В.О. Мищенко CASE-оценка критических программных систем. В 3-х томах. Том 1. Качество / Мищенко В.О., Поморова О.В., Говорущенко Т.А. / Под ред. Харченко В.С. - Харьков: НАУ "ХАИ", 2012. - 201 с.
16. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models
17. ISO/IEC 14598 Information technology - Software product evaluation
18. Стандарты качества и сложности программного обеспечения // [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.rol.ru/news/it/press/cwm/25_96/teh.htm
19. ISO/IEC 15504: Information Technology - Software Process Assessment
20. Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE) // [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.sqi.gu.edu.au/spice>
21. Коган Б.И. Автоматизация оценивания качества программного обеспечения // [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.febras.ru/~conf/seminar/kogan.html>

Надійшла 24.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Поморова О.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗБОЇВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В роботі обґрунтовано можливість застосування частотного енергетичного методу для діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронних засобів озброєнь при наявності збоїв. Даний метод дозволяє використовувати спектр енергодинамічних імпульсів, що виникають у шині живлення цифрових пристроїв для перевірки їх працездатності.

Ключові слова: частотний енергетичний метод, засіб діагностування

In this paper the opportunity of applying frequency energy method for diagnosing digital device object REFs arms in the presence of faults. This method allows the use of spectrum enerhodynamichnyh impulses arising in the tire supply digital devices to test their performance.

Keywords: frequency energy method, tool of diagnosing.

Вступ. Сучасні радіоелектронних засобів озброєнь (РЕЗО) у своєму складі мають окремий клас найважливіших елементів – цифрові пристрої (ЦП). Широка номенклатура цифрових пристроїв, що використовуються в об'єктах РЕЗО, їх багатофункціональність висувають жорсткі вимоги до засобів діагностування з точки зору забезпечення заданого рівня тривалості діагностування, при забезпеченні необхідної достовірності [1]. Забезпечити висунуті вимоги можна застосуванням нових ефективних принципів, методів і засобів для розробки сучасних вмонтованих засобів діагностування (ВЗД) об'єктів РЕЗО на основі нових ефективних методів діагностування.

Аналіз стану проблеми. До складу об'єктів РЕТ входять цифрові радіоелектронні пристрої (РЕП). Проведення якісного контролю технічного стану цифрових радіоелектронних пристроїв РЕП залежить від методу діагностування. Перспективним методом діагностування РЕП являється частотний енергетичний метод побудови ієрархічних, універсальних, автоматизованих ВЗД об'єктів РЕЗО [2]. Сутність цього методу полягає в тому, що при періодичному переключенні логічних елементів (ЛЕ) у ланцюзі живлення цифрових пристроїв виникають періодичні пакети енергодинамічних імпульсів (ЕДІ), форма і число яких залежать від типу інтегральної схеми й способу включення. Маючи дискретний спектр, вони можуть бути представлені у вигляді сукупності гармонійних складових, що відрізняються частотою, початковою фазою й амплітудою. Ряд вузькополосних фільтрів, що представляють собою паралельний аналізатор спектра, виділяє найбільш інформативні з точки зору діагностики гармоніки, які після порівняння з опорною напругою перетворюються у двійковий код Фур'є-образу.

При подальшій обробці проводиться порівняння отриманого коду з еталонним. При різному числі елементів, що переключилися, двійкові коди Фур'є-образів різні. Тому спектральний аналіз дозволяє виявляти наявність імпульсів, що відповідають кратному спрацьовуванню елементів логічного ланцюга.

Проведений аналіз спектрів сигналів, що виникають у ланцюзі живлення при перемиканнях ЛЕ цифрових пристроїв, показав, що спектри являються достовірними джерелами діагностичної інформації (ДІ). Використовуючи принципи одночасного аналізу, технічно можливо реалізувати засіб діагностування для визначення технічного стану цифрових пристроїв на основі спектрального аналізу сигналів.

В процесі роботи цифрових пристроїв можуть виникати збої. Збоєм цифрового пристрою називається однократна відмова від виконання якої-небудь операції [3]. Збої виникають через помилкові сигнали, яких обумовлена наступними причинами:

- через структурні зміни в елементах пристрою;
- через електромагнітні наведення від зовнішніх і внутрішніх джерел;
- через реакції ліній передачі сигналів;
- через пульсації в шинах живлення радіоелектронної техніки.

Основною причиною збоїв є наведення й пульсації. Наявність збоїв в цифрових пристроях при проведенні діагностування частотним енергетичним методом з реєстрацією числа імпульсів у ланцюзі живлення можуть привести до відсутності переключення логічного елемента або його помилкове спрацьовування. Це може привести до зміни числа імпульсів енергодинамічного процесу й розбіжності його з еталонним і стати причиною зниження достовірності діагностування.

Постановка задачі. Таким чином, необхідно провести дослідження впливу збоїв на ефективність частотного енергетичного методу діагностування при частотно-спектральній обробці діагностичної інформації. Тому необхідно вирішити наукове завдання, що полягає в обґрунтуванні можливості застосування нового частотного енергетичного методу для діагностування цифрових пристроїв об'єктів РЕЗО при наявності збоїв.

Основна частина. Відомо, що комплексна амплітуда гармонік дискретного спектра періодичного сигналу має вигляд:

$$S_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-jk\Omega t} dt, \quad (1)$$

де T – період повторення сигналу;
 $k\Omega$ – частота k -ї гармоніки.

Спектральна щільність для розкладу неперіодичного сигналу відповідно дорівнює

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (2)$$

З порівняння виразів (1) і (2) можна зробити висновок про те, що спектральна щільність $S(j\omega)$ відрізняється від коефіцієнта S_k тільки відсутністю множника $1/T$. Отже, якщо задано спектр одиночного сигналу й період повторення T , то коефіцієнти ряду Фур'є для отриманої періодичної послідовності дорівнює

$$S_k = \frac{S(j\omega)}{T},$$

причому аргумент ω спектральної щільності $S(j\omega)$ повинен дорівнювати частоті $k\Omega$ відповідної гармоніки, де $\Omega = \frac{2\pi}{T}$, тобто

$$S_k = \frac{S(kj\Omega)}{T}. \quad (3)$$

Детермінована модель енергодинамічного процесу в частотній області для пачки імпульсів має вигляд

$$S_n(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\frac{\omega^2}{4\alpha^2}} \frac{\sin \frac{N}{2} \omega T_i}{\sin \frac{\omega T_i}{2}} e^{-j\left(\frac{N-1}{2}\right)\omega T_i} (1 + e^{-j\omega T}), \quad (4)$$

де T_i – період повторення імпульсів у межах пачки;
 N – число імпульсів в пачці;
 U_0 – амплітуда імпульсу;
 α – коефіцієнт форми.

Для побудови й аналізу амплітудно-частотного спектру комплексну величину $S_n(j\omega)$ представимо в показовому вигляді, увівши для цього позначення:

$$\left\{ \begin{array}{l} P(\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\frac{\omega^2}{4\alpha^2}} \frac{\sin \frac{N}{2} \omega T_i}{\sin \frac{\omega T_i}{2}}; \\ Q(\omega) = \left(\frac{N}{2} - 1\right) \omega T_i; \\ R(\omega) = \omega T. \end{array} \right. \quad (5)$$

З урахуванням (5) вираз (4) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} S_n(j\omega) &= P(\omega) \cdot e^{jQ(\omega)} (1 + e^{-jR(\omega)}) = P(\omega) \left[e^{-jQ(\omega)} + e^{-j(Q(\omega)+R(\omega))} \right] = \\ &= P(\omega) \left\{ \cos[Q(\omega)] - j \sin[Q(\omega)] + \cos[Q(\omega) + R(\omega)] - j \sin[Q(\omega) + R(\omega)] \right\} = \\ &= P(\omega) \sqrt{\left\{ \cos[Q(\omega)] + \cos[Q(\omega) + R(\omega)] \right\}^2 + \left\{ \sin[Q(\omega)] + \sin[Q(\omega) + R(\omega)] \right\}^2} \times \\ &\quad \times \exp \left\{ -j \arctg \frac{\sin Q(\omega) + \sin(Q(\omega) + R(\omega))}{\cos Q(\omega) + \cos(Q(\omega) + R(\omega))} \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Після підстановки виразів (5) в (6) модель енергодинамічного процесу в частотній області прийме вигляд:

$$S_n(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\frac{\omega^2}{4\alpha^2}} \frac{\sin \frac{N}{2} \omega T_i}{\sin \frac{\omega T_i}{2}} \left\{ \left[\cos \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_i}{2} \right] + \cos \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_i}{2} + \omega \tau \right] \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[\sin \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_i}{2} \right] + \sin \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_i}{2} + \omega \tau \right] \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \times \\ \times \exp \left\{ -j \arctg \frac{\sin \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_i}{2} \right] + \sin \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_i}{2} + \omega \tau \right]}{\cos \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_i}{2} \right] + \cos \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_i}{2} + \omega \tau \right]} \right\}.$$

Комплексні амплітуди ряду Фур'є для пачок енергодинамічних імпульсів, що повторюються з періодом T , відповідно до умови (1) приймуть вигляд:

$$|S_k| = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\frac{(k\Omega)^2}{4\alpha^2}} \frac{\sin \frac{N}{2} k\Omega T_i}{\sin \frac{k\Omega T_i}{2}} \times \\ \left\{ \left[\cos \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{k\Omega T_i}{2} \right] + \cos \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{k\Omega T_i}{2} + k\Omega \tau \right] \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[\sin \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{k\Omega T_i}{2} \right] + \sin \left[\left(\frac{N}{2} - 1 \right) \frac{k\Omega T_i}{2} + k\Omega \tau \right] \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

При побудові графіка амплітудно-частотного спектра варто врахувати, що амплітуда k -ої гармоніки спектра $a_k = 2|S_k|$. Таким чином, з аналізу виразу (7) можна зробити висновок про те, що модуль спектральної щільності пачки енергодинамічних імпульсів і огинаюча дискретного спектра періодичної послідовності пачок, що отримані шляхом повторення заданої пачки, збігаються за формою й відрізняються тільки масштабом.

Розглянемо найпростішу часову модель енергодинамічного процесу із збоєм за умови періодично поступних пачок енергодинамічних імпульсів. Пачка складається із трьох імпульсів. Період проходження пачок T . Нехай у результаті збою k -та пачка буде складатися з 2-х імпульсів. Доведемо, що при одночасному паралельному аналізі наявність збоїв на одному такті не приведе до спотворення спектра сигналу.

Одна із самих істотних особливостей аналізу періодичних сигналів проявляється в тому, що цей аналіз проводиться в сталому режимі. Розглянемо аналізатор спектра сигналів, що складається з резонаторів із загасанням. Рівняння резонатора в цьому випадку має вигляд:

$$U + 2\delta_i U + \omega_i^2 U = \omega_i^2 E_m \sin(\omega_i t + \psi), \quad (8)$$

де $E_m \sin(\omega_i t + \psi)$ – гармонійна складова спектра періодичного сигналу;

$$\omega_i = \frac{1}{L_i C_i} \text{ – власна частота } i\text{-го резонатора;}$$

$$\delta_i = \frac{r_i}{2L_i} \text{ – коефіцієнт загасання;}$$

u – вихідна напруга;

i – порядковий номер резонатора.

Загальне рішення рівняння (8) буде мати вигляд:

$$U = U_{\text{св}} + U_{\text{пр}} = A e^{-\delta_i t} \sin(\omega_i t + \theta) + U_m \sin(\omega_i t + \psi).$$

При нульових початкових умовах одержимо рішення рівняння (8):

$$U_i = U_m (1 - e^{-\delta_i t}) \sin(\omega_i t + \psi),$$

де

$$U_m = \frac{E_m}{w_i C_i \sqrt{r_i^2 + \left(w_i L_i + \frac{1}{w_i C_i} \right)^2}} \quad (9)$$

Амплітуда напруги на виході резонатора зростає за законом $-e^{-\delta_k t}$, асимптотично наближається до значення, що дорівнює амплітуді цієї напруги в сталому режимі. При $t = \tau$ в резонаторі настає вільний процес коливального розряду ємності, тривалість якого визначається коефіцієнтом загасання

$$\delta_k^1 = \frac{r_k}{2L_k} > \delta_k.$$

З появою на вході резонатора другої пачки імпульсів періодичної послідовності коливальний перехідний процес заряду ємності повторюється, але вже не з нульовими початковими умовами. У цілому в сталому режимі амплітуда напруги на виході k -того резонатора пропорційна модулю спектральної складової на частоті w_k .

Виникнення збоїв на одному з періодів проходження пачок енергодинамічних імпульсів приведе до того, що зміниться поточний спектр сигналу, що аналізується. Отже, в момент часу $t = t_i$ на вході резонатора, що настроєний на частоту w_k , буде діяти гармоніка з амплітудою, що відрізняється від амплітуди гармоніки сигналу без збою. Як у випадку перевищення амплітуди, так і у випадку низького рівня періодичності процесів заряду-розряду за умови $nT > t_a$, де n – число тактів повторення, T – період проходження пачки, t_a – час аналізу, приведе до того самого сталого значення сигналу на виході резонатора, що визначається співвідношенням (9). Отже, при одночасному паралельному аналізі однократна відмова цифрового пристрою (збій) не приводить до спотворення спектра сигналу.

Висновки. В роботі проведено дослідження впливу збоїв на ефективність частотного енергетичного методу діагностування при частотно-спектральній обробці діагностичної інформації. Дане дослідження показало, що при одночасному паралельному аналізі енергодинамічного процесу однократна відмова цифрового пристрою (збій) не приводить до спотворення спектра досліджуваного сигналу.

Таким чином, в статті вирішена наукове завдання обґрунтування можливості застосування нового частотного енергетичного методу для діагностування цифрових пристроїв об'єктів РЕЗО при наявності збоїв. Тому частотний енергетичний метод діагностування можна використовувати для побудови ієрархічних, універсальних, автоматизованих вмонтованих засобів діагностування об'єктів РЕЗО

Література

1. Вишнівський В.В. Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки: Монографія / Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.О.; під редакцією М.К. Жердева, С.В. Ленкова. – К.: Знання України, 2009. – 220 с.
2. Вишнівський В.В. Розробка частотного енергетичного методу контролю технічного стану цифрових пристроїв об'єктів РЕЗО / В.В. Вишнівський, О.В. Сєлюков // П'ята міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси». – НАУ. – Київ, 2012. – С.407 – 408.
3. Вишнівський В.В. Діагностична модель спектрального аналізу енергодинамічних імпульсів при наявності збоїв / Вишнівський В.В., Ніколайчук М.Г // Дев'ята регіональна конференція студентів і молодих науковців «інформатика, інформаційні системи та технології». – Одеса, – 2012. – С. 67 – 68.

Надійшла 16.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.

РОЗВИТОК ПРИНЦИПУ ПЕРЕВІРКИ ДОСТОВІРНОСТІ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ТРИПОЗИЦІЙНОЮ ПАСИВНОЮ СИСТЕМОЮ РАДІОТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ОБ'ЄКТІВ

У роботі дістав подальшого розвитку принцип перевірки достовірності методу визначення координат об'єкта, який базується на закономірності між положенням об'єкта відносно датчиків і знаками та абсолютними значеннями різниць дальностей.

Ключові слова: принцип визначення координат, відбраковка хибних координат.

In work the principle of verification of authenticity of method of determination of co-ordinates object which is based on conformity to the law between position the object in relation to sensors and signs and absolute values of difference is developed.

Keywords: principle of the coordinates, identifying false coordinates.

Вступ. При вирішенні завдання визначення координат об'єкта за допомогою обробки результатів різницево-дальномірного методу вимірювань, який лежить в основі методів точного визначення координат об'єкта, крім істинних координат отримують й інші рішення. Проте, в літературі по радіотехнічним, радіонавігаційним системам питанню щодо вибору з декількох рішень одного, відповідного реальному місцеположенню об'єкта, належної уваги не приділяється [1-3]. Більшість авторів указують на необхідність залучення додаткової інформації (апріорної або від інших систем про можливе місцеположення об'єкта, допускаючи при цьому низьку точність). Рішення аналогічного проблемного завдання в сейсмолокаційних системах щодо визначення координат об'єкта трьома приймачами зводиться до розгляду восьми рівноймовірних сполучень знаків затримок сигналу [4; 5]. При цьому стверджується, що навіть відсутність систематичної похибки вимірювань не є ознакою точного визначення координат, а ймовірність визначення координат не залежить від дисперсії похибок вимірювань і виду ймовірності їх розподілу, а також топології пеленгаторів.

Постановка проблеми. З урахуванням зазначеного, а також результатів проведеного аналізу робіт у галузі розвитку радіотехнічних, сейсмолокаційних систем контролю можна стверджувати, що завдання щодо відбраковки хибних координат, зменшення неоднозначності рішення координатометричної задачі не втратило актуальності.

Тому, метою роботи є дослідження причин виникнення хибних координат при здійсненні координатометрії трьома ненаправленими приймачами, а також подальший розвиток принципу перевірки достовірності методу визначення координат об'єкта.

Основний зміст роботи. Задача визначення координат об'єкта на площині за набором вимірних значень різниць дальностей щодо декількох пар сигналізаційних приймачів, які розміщені у фіксованих точках, може бути зведена до математичного формулювання. Нехай є набір фіксованих точок, заданих своїми координатами відповідно в деякій системі координат. Щодо точки, координати якої необхідно визначити, відомі різниці відстаней від неї до точок розміщення приймачів. Описаний загальний алгоритм визначення координат припускає відшукання коренів системи нелінійних рівнянь, які пов'язують початкові дані з координатами об'єкта локації. Вирішення системи нелінійних рівнянь є складною математичною задачею, що не має загального рішення. Залежно від методу отримання аналітичного рішення можуть виникати декілька розв'язків, щонайменше два. Причиною виникнення хибних коренів є некоректність складання математичної моделі відповідно до завдання щодо визначення координат об'єкта. Пояснення причин зазначеного подано у роботах Сайбея О. Г. [6-8]. Рівняння, яке зв'язує значення різниці дальності з координатами об'єкта і датчиків-приймачів має вигляд

$$\Delta r_{AB} = \sqrt{(a+x)^2 + y^2} - \sqrt{(a-x)^2 + y^2}. \quad (1)$$

Після піднесення до квадрату правої та лівої частин рівняння отримують

$$\Delta r_{AB}^2 = 2 \left(a^2 + x^2 + y^2 - \sqrt{(a+x)^2 + y^2} \sqrt{(a-x)^2 + y^2} \right),$$

звідки

$$\left((a+x)^2 + y^2 \right) \left((a-x)^2 + y^2 \right) = \left(a^2 + x^2 + y^2 - \Delta r_{AB}^2 / 2 \right)^2.$$

Після спрощення отримують

$$\frac{4x^2}{\Delta r_{AB}^2} - \frac{4y^2}{4a^2 - \Delta r_{AB}^2} = 1, \quad (2)$$

тобто, рівняння (1) має вигляд канонічного рівняння гіперболи

$$\frac{x^2}{a_1^2} - \frac{y^2}{b_1^2} = 1, \quad (3)$$

де $a_1 = \Delta r_{AB} / 2$; $b_1 = \sqrt{4a^2 - \Delta r_{AB}^2} / 2$.

З наведених аналітичних перетворень випливає, що точка розміщення об'єкта локації D належить лінії, що описується рівнянням (3). Проте слід враховувати, що при піднесенні до квадрату рівняння (1) відбулася втрата знака значення різниці дальностей Δr_{AB} . Реально точка D може належати тільки одній гілці гіперболи відповідно до системи умов

$$\begin{cases} \frac{4x^2}{\Delta r_{AB}^2} - \frac{4y^2}{4a^2 - \Delta r_{AB}^2} = 1; \\ \Delta r_{AB} \cdot x > 0. \end{cases} \quad (4)$$

У зв'язку з цим розглянемо підхід щодо відбору хибних коренів при вирішенні системи рівнянь гіпербол, що заснований на аналізі співвідношення розташування об'єкта, датчиків і значень різниць дальностей, які їх зв'язують.

Нехай задано два датчики, які розміщуються в точках A й B і визначено, що різниця дальностей Δr_{AB} від об'єкта до датчиків становить [6-8]

$$\Delta r_{AB} = r_A - r_B,$$

де r_A , r_B – відстані від точок A й B до об'єкта.

Тоді, якщо розділити площину на два сектори лінією, перпендикулярною відрізка AB , яка проходить через його середину (рис. 1 а), отримуємо такі умови:

при розташуванні об'єкта в секторі 1 виконується умова $\Delta r_{AB} < 0$;

при розташуванні об'єкта в секторі 2 виконується умова $\Delta r_{AB} > 0$.

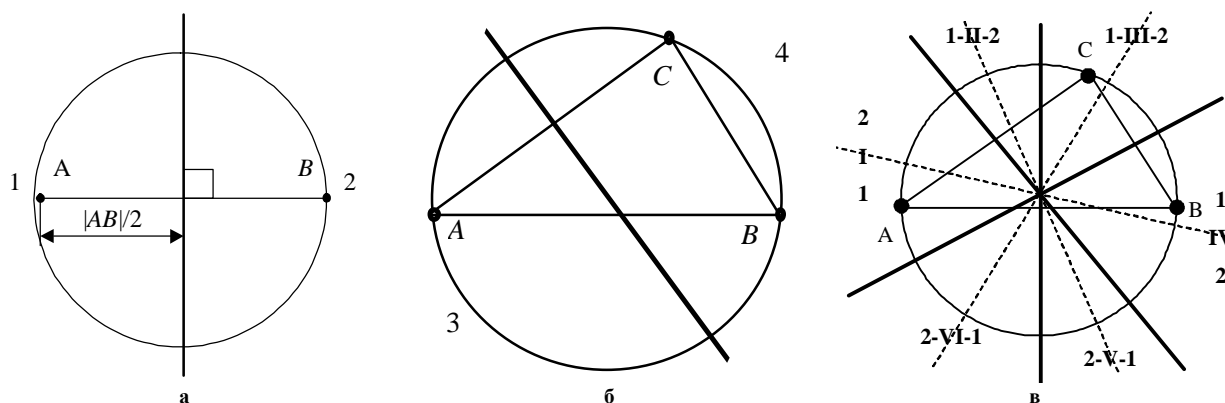


Рис. 1. Сектори місцеположення об'єкта

Якщо задано три датчики в точках A , B і C й визначені різниці дальностей Δr_{AB} , Δr_{AC} , Δr_{BC} , тоді, зробимо аналогічні висновки для кожної пари датчика. Наприклад, для пари датчиків $\{A, C\}$ отримуємо такі умови (рис. 1 б):

при розташуванні об'єкта в секторі 3 виконується умова $\Delta r_{AC} < 0$;

при розташуванні об'єкта в секторі 4 виконується умова $\Delta r_{AC} > 0$.

Оскільки відомо, що в кожному трикутнику три перпендикуляри до його сторін, які проходять через середини цих сторін, перетинаються в центрі описаного кола, отже три лінії, перпендикулярні сторонам трикутника ΔABC проходять через їх середини, розбивають площу на шість секторів (рис. 1 в). Для кожного з секторів складають систему нерівностей, що зв'язують положення об'єкта відносно датчиків із значеннями різниць дальностей, отримують відомі закономірності (табл. 1, строка 1).

Закономірності визначення координат об'єкта при використанні тріади датчиків

Сектор місцеположення об'єкта		I (1, 2)	II (1, 2)	III (1, 2)	IV (1, 2)	V (1, 2)	VI (1, 2)
Умова розміщення об'єкта в секторі	за знаками різниць дальностей	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} > 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} > 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} > 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$	$\begin{cases} \Delta r_{AB} < 0; \\ \Delta r_{AC} < 0; \\ \Delta r_{BC} < 0. \end{cases}$
	за значеннями різниць дальностей	1	2	3	4	5	6
	1	$ \Delta r_{AC} > \Delta r_{BC} $	$ \Delta r_{AC} < \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{BC} > \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{AC} > \Delta r_{BC} $	$ \Delta r_{AC} < \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{BC} > \Delta r_{AB} $
2	$ \Delta r_{AC} < \Delta r_{BC} $	$ \Delta r_{AC} > \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{BC} < \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{AC} < \Delta r_{BC} $	$ \Delta r_{AC} > \Delta r_{AB} $	$ \Delta r_{BC} < \Delta r_{AB} $	

Новизною принципу є виявлена закономірність між розміщенням об'єкта в секторі і значеннями різниць дальностей до місць розміщення датчиків. Тобто, додатково розглядаються абсолютні значення різниць дальностей, рис. 2.

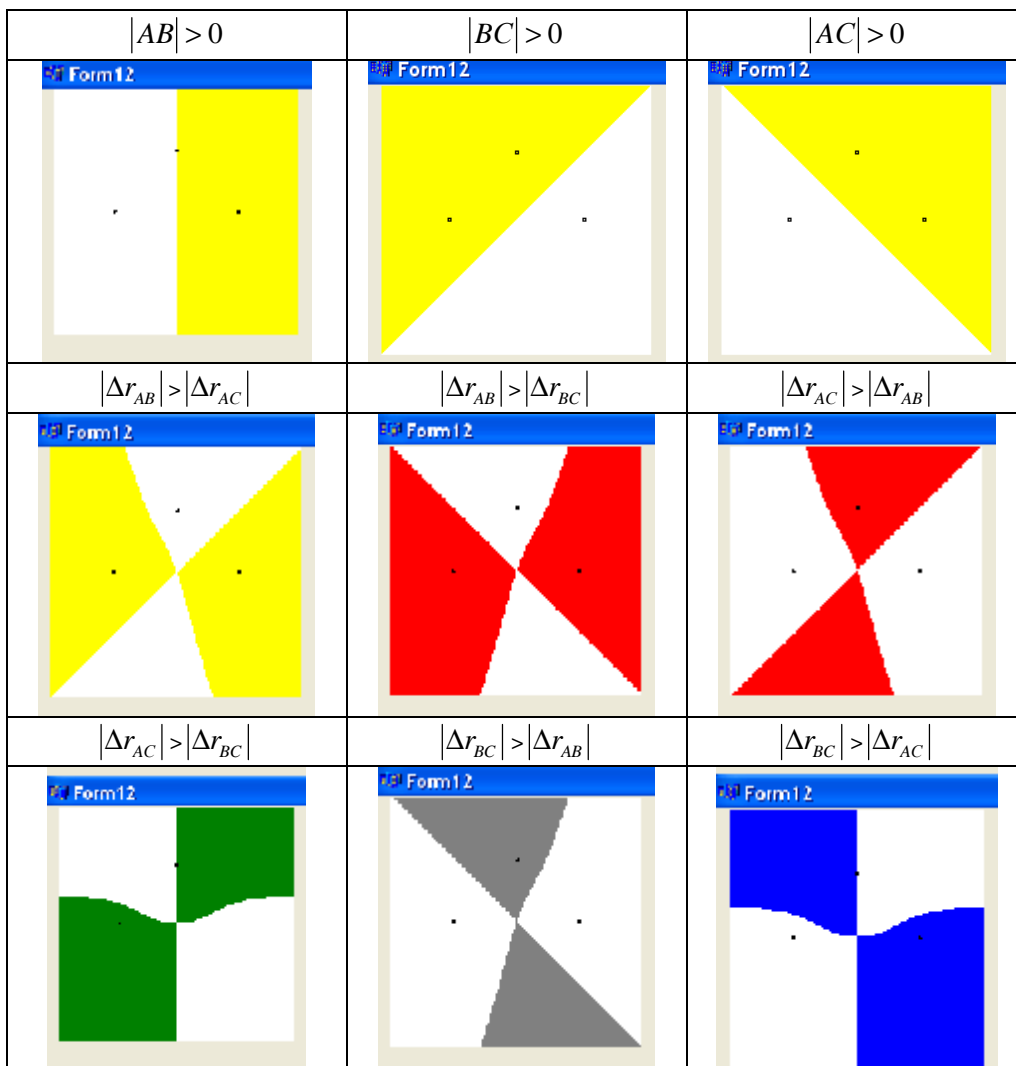


Рис. 2. Сектори розміщення об'єкта з врахуванням абсолютних значень різниць дальностей

Згідно даних рис. 2 встановлено властивість нелінійності лінії розподілу секторів, особливо у ближній зоні. Це пояснюється тим, що лінія розподілу є гіперболою. Зазначене необхідно враховувати в методиці застосування принципу для відбраковки хибних координат об'єкта. Встановлена закономірність (строки 2, 3 табл. 1) доповнює відому закономірність на основі знаків різниць дальностей.

Відповідно до даних табл. 1 кількість секторів місцеположення об'єкта подвоюється у порівнянні із врахуванням тільки знаків різниць дальностей, рис. 3.

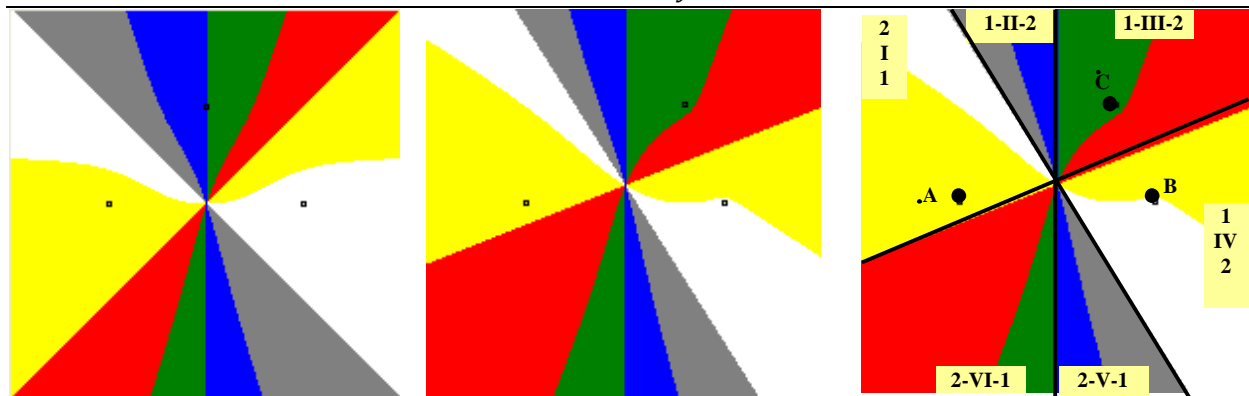


Рис. 3. Закономірності визначення координат об'єкта з врахуванням абсолютних значень різниць дальностей

Це дозволяє зменшити вдвічі ймовірність отримання хибної координати місцеположення об'єкта. Отримані залежності між місцеположенням об'єкта і знаками та значеннями різниць дальностей Δg можуть бути використані при перевірці достовірності методу визначення координат об'єкта.

Порядок застосування розвинутого принципу такий:

1. Визначають, з прив'язкою до місцевості, сектора I-VI місцеположення об'єкта за знаками різниць дальностей, відповідно до систем нерівностей (строка 1, табл. 1).
2. Проводять поділ визначених секторів сектора I-VI на два підсектори 1, 2 за абсолютними значеннями різниць дальностей, відповідно до нерівностей (строки 2, 3, табл. 1).
3. Визначають сектор, якому відповідають координати об'єкта.
4. За знаками і абсолютними значеннями різниць дальностей для даних координат також визначають сектор місцеположення.
5. При співпадінні секторів, визначених у п. 3 і 4, отримують істинні координати об'єкта локації.

Висновок. Отже, розвинуто принцип перевірки достовірності методу визначення координат об'єкта (принцип відбраковки хибних координат), який базується на закономірності між положенням об'єкта відносно датчиків і знаками та абсолютними значеннями різниць дальностей.

Подальшим напрямком дослідження є розробка методу визначення координат об'єкта.

Література

1. Каразинов Ю. М. Радиотехнические системы / Ю. М. Каразинов. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
2. Сосулин Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Сосулин Ю. Г. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
3. Беляевский Л. С. Обработка и отображение радионавигационной информации / Беляевский Л. С., Новиков В. С., Оленюк П. В. – М.: Радио и связь, 1990. – 232 с.
4. Дудкин В. А. Системы и средства управления физической защитой объектов: Монография / В. А. Дудкин, Н. Б. Джазовский, Ю. А. Оленин и др. / Под ред. Ю. А. Оленина. – Пенза: ПГУ, 2003. – Кн. 2. – 256 с.
5. Дудкин В. А. Вариант построения пассивных сейсмических локаторов, основанных на измерении временных задержек / В. А. Дудкин // Современные технологии безопасности. – 2005. – № 4. – С. 24–29.
6. Пат. RU 2309420 С1, МПК G01S 3/46. Разностно-дальномерный способ определения координат источника радиоизлучения и реализующее его устройство / Сайбель А. Г., Гришин П. С., патентообладатель Воен. косм. акад. – № 2006103054/09; заявл. 02.02.2006; опубл. 27.10.2007.
7. Сайбель А. Г. Разностно-дальномерный метод радиопеленгования / А. Г. Сайбель // Радиотехника / под ред. Ю. В. Гуляева. – М.: «Радиотехника», 2003. – № 4. – С. 39–41.
8. Сайбель, А. Г. О снижении систематической погрешности пеленгования / А. Г. Сайбель, Б. А. Ушаков // Радиоконтроль. – Под ред. Г. С. Емельянов. – М.: «Связь», 2005. – № 8. – С. 25–35.

Надійшла 21.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Лисий М. І.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ НАВЧАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ МИТНОЇ ВАРТОСТІ ТОВАРІВ

У роботі проаналізовані основні алгоритми, які використовуються для навчання нейронних мереж. Було промодельована робота нейронної мережі на сформованій множині навчальних векторів. На основі розглянутих методів проведено навчання мережі з різними показниками швидкості навчання. Отримані значення вагових коефіцієнтів вихідного шару та вектори зсувів.

Ключові слова: нейронні мережі, митна вартість

In article the basic algorithms which are used for training of neural networks are analyzed. Work of a neural network has been simulated on the generated set of training vectors. Training of a neural network with various indicators of speed of training are spent on the basis of the considered methods. Values of weight factors are received.

Keywords: neural networks, the customs value.

Вступ. Одним з ключових державних органів управління є Державна митна служба України (ДМСУ), призначення якої полягає в захисті економічних інтересів держави в міжнародних економічних відносинах. Важливим аспектом в діяльності митної служби є здійснення митного контролю, однією з складових частин якого є задача класифікації та визначення митної вартості товарів та об'єктів митного контролю. Визначення митної вартості товарів має безпосередній і визначальний вплив як на створення конкурентного середовища на національному ринку, так і на доходи державного бюджету від міжнародної торгівлі [1].

Визначення митної вартості завжди розглядалось як пріоритетне завдання в галузі реалізації митної справи ДМСУ. Така увага обумовлена великою кількістю ризиків, які пов'язані із можливістю ухилення від сплати юридичними та фізичними особами необхідних податків шляхом неправильного визначення та заниження митної вартості. Зазначені ризики обумовлені зокрема такими факторами як [2]: великий об'єм вхідної інформації, неточність (не достовірність) первинних даних, стислі строки прийняття рішення, складність організації УКТЗЕД, не достатній рівень знань в специфічних сферах таких як хімічна промисловість, легка промисловість, машинобудування, електроніка, сільське господарство тощо. Для зменшення ризиків на сьогоднішній день в ДМСУ створена та впроваджена автоматизована системи аналізу та керування ризиками. Враховуючи зміни у законодавстві та динамічність процедур митного оформлення алгоритми визначення митної вартості потребують автоматизації і мають бути адаптованими до можливих змін нормативної бази. Для розв'язання цієї проблеми у роботі [3] розроблено нейронну мережу для розв'язання сформульованих вище задач на прикладі визначення митної вартості взуття, яка після формування навчальної множини векторів входу та вектору бажаних відгуків (цілей), цілком готова до навчання. Схема нейронної мережі наведена на рис. 1.

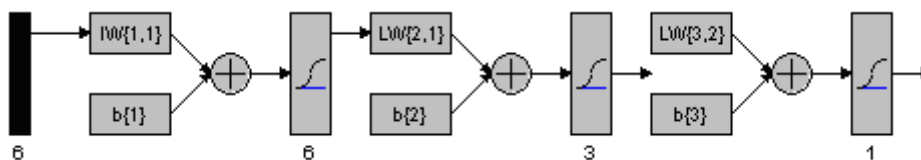


Рис. 1. Схема нейронної мережі

Метою даної роботи є аналіз алгоритмів навчання нейронних мереж, апробація їх на побудованій нейронній мережі, вибір оптимального алгоритму та навчання нейронної мережі.

Результати дослідження. Методи, що використовуються при навчанні нейронних мереж, багато в чому аналогічні методам визначення екстремуму функції декілька змінних. У свою чергу, останні діляться на 3 категорії – методи нульового, першого і другого порядку [4].

У методах *нульового порядку* для знаходження екстремуму використовується тільки інформація про значення функції в заданих точках.

У методах *першого порядку* використовується *градієнт функціонала помилки* по параметрах, що настроюються:

$$x_{k+1} = x_k - a_k g_k \quad (1)$$

де x_k – вектор параметрів;

a_k – параметр швидкості навчання;

g_k – градієнт функціонала, які відповідають ітерації з номером k .

Певну проблему тут викликає вибір параметра швидкості навчання a_k . При великому значенні

параметра a_k збіжність буде швидкою, але існує небезпека пропустити рішення або піти в неправильному напрямі. Навпаки, при малому кроці, ймовірно, буде вибрано вірний напрям, але при цьому буде потрібно дуже багато ітерацій. Правильний вибір цього параметра залежить від конкретного завдання і зазвичай здійснюється шляхом проб; у разі змінного параметра його значення зменшується поволі приближення до мінімуму функціонала.

Методи другого порядку вимагають знання других похідних функціонала помилки. До методів другого порядку відноситься метод Ньютона. Основний крок методу Ньютона визначається по формулі:

$$x_{k+1} = x_k - H_k^{-1} g_k, \quad (2)$$

де x_k – вектор значень параметрів на k -ї ітерації;

H – матриця других частних похідних цільової функції, або матриця Гессе;

g_k – вектор градієнта на k -ї ітерації.

Зазвичай метод Ньютона сходиться швидше, ніж методи найшвидшого спуску, але вимагає великих затрат часу та пам'яті із-за обчислення гессіана. Для того, щоб уникнути обчислення матриці Гессе, пропонуються різні способи її заміни наближеними виразами, що породжує так звані *квазіньютоніві алгоритми* (алгоритм методу січних площин OSS, алгоритм LM Левенберга – Марквардта [5]).

Процес навчання нейронних мереж пов'язаний з такою настройкою її вагових коефіцієнтів і зсувів, щоб мінімізувати деякий функціонал, що залежить від помилок мережі, тобто різниці між бажаним і реальним сигналами на її виході.

Під час навчання нейронної мережі в якості такого функціоналу буде використовуватись середня квадратична помилка:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i^2, \quad (3)$$

де N – розмір вектору помилок нейронної мережі;

e_i – i -та помилка вектору помилок нейронної мережі.

Вектор помилок:

$$E = Y - T, \quad (4)$$

де Y – вектор відгуків;

T – вектор бажаних відгуків.

Значення вагових коефіцієнтів вхідного шару:

$$IW_{S^1 R} = \begin{bmatrix} -1,5489 & 1,9866 & -2,1466 & -0,2392 & -1,5143 & -2,0971 \\ -1,4632 & -1,8304 & -1,5146 & 2,0761 & 0,8186 & 1,7892 \\ -1,9837 & -1,4504 & -0,9407 & 1,9132 & 2,0570 & -0,3077 \\ -1,9507 & 2,2870 & 0,8469 & -1,0898 & 0,7631 & 1,8059 \\ 0,7705 & -0,3295 & -4,1614 & -1,8588 & 2,0267 & 1,2854 \\ -1,3483 & -0,6977 & -4,0293 & 1,6264 & -2,1377 & 0,8171 \end{bmatrix},$$

де S^1 – кількість нейронів вхідного шару; R – розмір вхідного вектору.

Значення вагових коефіцієнтів прихованого шару:

$$LW_{S^2 a^1} = \begin{bmatrix} -1,4852 & -2,9812 & -0,0941 & -0,4116 & 3,8761 & -4,3512 \\ -3,1714 & -0,7364 & 3,0002 & -0,4683 & -4,6950 & 1,8345 \\ -4,1062 & 4,2444 & -0,4678 & -1,0466 & -2,4156 & 1,7898 \end{bmatrix},$$

де S^2 – кількість нейронів прихованого шару; a^1 – вектор входів для прихованого шару. Значення ваг вихідного шару: $OW_{S^3 a^2} = [5,4529 \quad 0,5947 \quad -1,1282]$

Вектори зсувів мають наступні значення.

$$\text{Для першого шару: } B_1 = \begin{bmatrix} 13,8202 \\ 1,7563 \\ 1,7092 \\ -5,6562 \\ 4,7181 \\ 5,7501 \end{bmatrix}, \text{ для другого шару } B_2 = \begin{bmatrix} 6,0862 \\ 2,1182 \\ -2,3616 \end{bmatrix}, \text{ для вихідного шару:}$$

$$B_3 = [-2,4597]$$

Промодельємо роботу нейронної мережі на сформованій множині навчальних векторів. В

результаті отримаємо наступний вектор відповідей мережі:

$$Y = [0,9449 \quad 0,8855 \quad 0,9464 \quad 0,9164 \quad 0,9292 \quad 0,8336 \quad 0,9516 \quad 0,9522 \quad 0,9467 \quad 0,9520... \\ 0,9480 \quad 0,9523 \quad 0,9512 \quad 0,9505 \quad 0,9523 \quad 0,9516 \quad 0,9522 \quad 0,9523 \quad 0,9504 \quad 0,9504... \\ 0,9513 \quad 0,9387 \quad 0,9552]$$

Відповідно до (4) отримаємо вектор помилок:

$$E = [0,8949 \quad 0,7655 \quad 0,8264 \quad 0,7164 \quad 0,6292 \quad 0,4336 \quad 0,8516 \quad 0,7722 \quad 0,6967 \quad 0,6720... \\ 0,5980 \quad 0,7023 \quad 0,6512 \quad 0,9505 \quad 0,1505 \quad 0,7523 \quad 0,6716 \quad 0,6022 \quad 0,5523 \quad 0,4004... \\ 0,0013 \quad 0,3387 \quad 0,5052]$$

середня квадратична помилка відповідно до (3): $MSE=0.3890$.

Для навчання за алгоритмом найшвидшого спуску використаємо алгоритм *GDM*. Алгоритм *GDM*, або алгоритм градієнтного спуску, з обуренням дозволяє долати локальні нерівності поверхні помилки і не зупинятися в локальних мінімумах. З урахуванням обурення метод зворотного розповсюдження помилки реалізує наступне співвідношення для приросту вектора параметрів, які настраюються:

$$Dw_k = mcDw_{k-1} + (1 - mc)lr * g_k, \quad (5)$$

де Dw_k – приріст вектора вагів;

mc – параметр обурення;

lr – параметр швидкості навчання;

g_k – вектор градієнта функціонала помилки на k -ій ітерації.

Проведемо навчання мережі. Аналізуючи графік якості навчання мережі (рис. 2 (а)), можна сказати, що за 100 епох мережа натренувалась із показником якості навчання $MSE=0,3747$, це дуже суттєва помилка навчання. Змодельюємо навчання з показником швидкості навчання $lr=0,2$ (рис. 2, (б)). Із графіка видно, що зі збільшенням показника швидкості навчання lr за ту ж саму кількість циклів навчання, нейронна мережа вчиться швидше та якісніше. Але при надто високому показнику lr процес навчання може стати нестабільний (рис. 2 (в)). Бачимо, що на 11-му циклі відбувся скачок функції якості навчання.

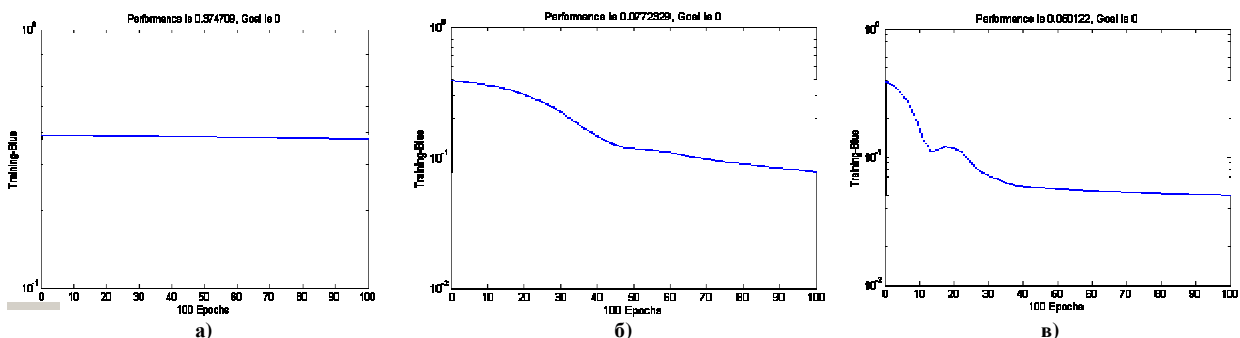


Рис. 2. Графік якості навчання мережі за алгоритмом *GDM* з показником швидкості навчання $lr=0,01$ (а), $lr=0,2$ (б), $lr=0,9$ (в)

Для навчання за квазіньютонівим алгоритмом використаємо алгоритм *LM* (Левенберга – Марквардта). Алгоритм *LM* реалізує наступну стратегію для оцінки матриці Гессе. У припущенні, що функціонал визначається як сума квадратів помилок, що характерно для навчання нейронних мереж з прямою передачею, гессіан може бути приблизно обчислений як:

$$H \cong J^T J, \quad (6)$$

а градієнт розрахований по формулі:

$$g = J^T * E, \quad (7)$$

де $J = \frac{\partial J}{\partial W}$ – матриця Якобі похідних функціонала помилки по параметрам, що настраюються;

E – вектор помилок мережі.

Матриця Якобі може бути обчислена на основі стандартного методу зворотного розповсюдження помилки, що істотно простіше за обчислення матриці Гессен.

Алгоритм *LM* використовує апроксимацію гессіана наступного вигляду:

$$x_{k+1} = x_k - (J^T * J + m * J)^{-1} * J^T E_k, \quad (8)$$

де x_k – вектор параметрів, що налаштовуються.

Коли коефіцієнт m рівний 0, ми отримуємо метод Ньютона з наближенням гессіана у формі (6); коли значення μ велике, отримуємо метод градієнтного спуску з маленьким кроком. Оскільки метод Ньютона має велику точність і швидкість збіжності поблизу мінімуму, завдання полягає в тому, щоб в

процесі мінімізації шонайшвидше перейти до методу Ньютона. З цією метою параметр μ зменшують після кожної успішної ітерації і збільшують тільки тоді, коли пробний крок показує, що функціонал помилки зростає. Така стратегія забезпечує зменшення помилки після кожної ітерації алгоритму.

Продемонструємо навчання нейронної мережі (рис. 3).

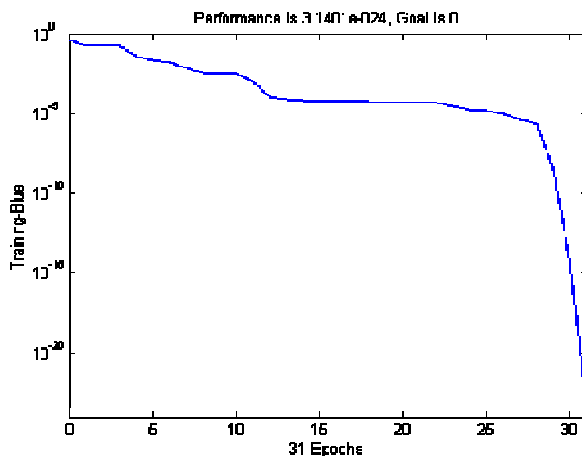


Рис. 3. Навчання нейронної мережі з використанням алгоритму LM.

Як видно, для навчання мережі з використанням алгоритму LM, достатньо було всього лише 31 циклів навчання, при цьому точність навчання: $MSE=3,1401 \cdot 10^{-24}$.

З малюнку 4 видно, що на 3 – 7 циклах навчання фактично реалізується метод градієнтного спуску, а потім метод Ньютона з апроксимацією гессіана.

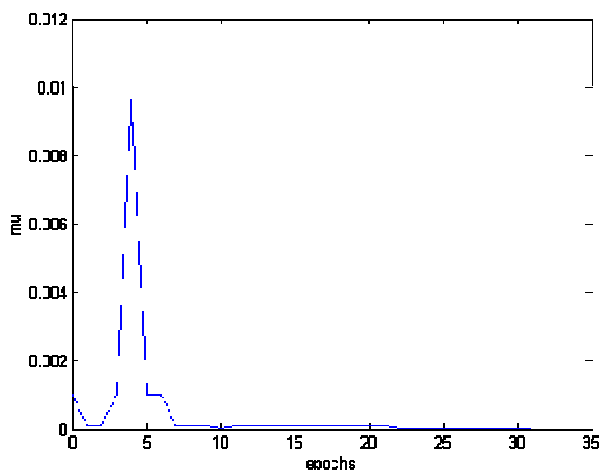


Рис. 4 Графік залежності μ від циклів навчання

Значення вагових коефіцієнтів вхідного шару:

$$IW_{S^1R} = \begin{bmatrix} -1,2101 & -1,5655 & -1,7275 & -4,4855 & -0,3243 & -0,4411 \\ -1,0291 & -1,3742 & -1,2747 & 3,5570 & 0,2269 & -0,4468 \\ -0,1774 & -0,6301 & 0,3041 & 3,1541 & 3,4002 & 1,9478 \\ -0,7038 & 0,8446 & 1,6952 & 1,0466 & 2,1903 & -0,1431 \\ 2,6719 & 0,8185 & -4,0864 & -2,4034 & 0,6024 & 1,8790 \\ -0,4799 & -1,7896 & -1,1248 & 3,5571 & 1,2210 & -2,2509 \end{bmatrix}$$

Значення вагових коефіцієнтів прихованого шару:

$$LW_{S^2a^1} = \begin{bmatrix} -0,9631 & -2,7541 & -1,6483 & 3,5706 & 4,1056 & -4,8642 \\ -7,2255 & -4,6638 & 2,1692 & 1,2008 & -4,8139 & 1,4590 \\ -4,3806 & 2,1099 & -1,1772 & -1,6189 & -4,4028 & 1,8326 \end{bmatrix}$$

Значення вагових коефіцієнтів вихідного шару: $OW_{S^3a^2} = [4,6183 \quad 6,8166 \quad 1,4402]$. Вектори зсувів мають наступні значення

$$\text{Для першого шару } B_1 = \begin{bmatrix} 14,6190 \\ 0,9189 \\ 2,2050 \\ -7,0356 \\ 3,3496 \\ 8,3043 \end{bmatrix}, \text{ для другого шару } B_2 = \begin{bmatrix} 5,3129 \\ 1,5548 \\ -4,5202 \end{bmatrix}, \text{ для вихідного шару}$$

$$B_3 = [-5,6520].$$

Висновок. У роботі проаналізовані алгоритми навчання нейронних мереж та проведено навчання раніше розробленої нейронної мережі. Проаналізувавши динаміку змін значень вагових коефіцієнтів для матриці вхідного шару, можна зробити висновок, що деякі параметри змінюються лише на початку, а деякі – протягом всього часу навчання. В першу чергу така поведінка обумовлена множиною навчальних векторів. Якщо навчальні вектори змішати і подати в іншому порядку це буде виглядати по іншому. В цьому і полягає унікальність окремої нейронної мережі, оскільки при кожній новій задачі вона щоразу буде навчатись по іншому, не кажучи про зміну архітектури, функції навчання, функції активації і т.д.

Література

1. Альміз В. Теоретичні аспекти проблем визначення та коригування митної вартості як фактор забезпечення економічної безпеки держави [Текст] / В. Альміз // Вісник Академії митної служби. – 2006. – № 1. – С.3-5.
2. Ульяновська Ю.В. Дослідження структури об'єктів митного контролю з метою їх класифікації [Текст] / Ю.В. Ульяновська // Вісник Академії митної служби України. – 2007. – № 2 (13). – С. 98-102.
3. Ульяновська Ю. В. Застосування нейронних мереж до визначення митної вартості товарів. [Текст] / Ю.В. Ульяновська // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3 (3). С 46-49.
4. Медведев В.С. НЕЙРОННЫЕ СЕТИ Matlab 6. / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 496 с.
5. Hagan M.T. Training feedforward networks with the Marquardt algorithm IEEE Transactions on Neural Networks. 1994. Vol. 5, N 6. P. 989-993.

Надійшла 27.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Яковенко В.О.

КООРДИНАЦІЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Обґрунтовується необхідність вдосконалення методів та засобів технічного діагностування високовольтних вимикачів для підвищення їх надійності в умовах експлуатації.

Ключові слова: високовольтний вимикач, надійність, діагностування, технічні характеристики.

The need to improve the methods and means of fault detection circuit for high-voltage increase their reliability in operation.

Keywords: *high voltage switch, reliability, diagnostics, specifications.*

Вступ. Надійність електроенергетичних систем (ЕЕС) в значній мірі залежить від методів та засобів локалізації та ліквідації аварій, відновлення нормального режиму роботи. До таких засобів, поряд з іншими видами обладнання, відносяться і високовольтні вимикачі, одним з призначень яких, є відключення пошкодженого обладнання та локалізація струмів коротких замикань.

В енергосистемах України в експлуатації знаходиться значна кількість вимикачів які пропрацювали понад 25 років, що перевищує їх паспортний ресурс. В наш час перед підприємствами енергетичної галузі стоїть завдання забезпечити надійну експлуатацію такого застарілого обладнання. Виконання цього завдання передбачає декілька шляхів, наприклад, відомий шлях планових та позапланових ремонтів застарілого обладнання (з точки зору витрачання невеликих витрат з залученням підрядних організацій які надають гарантійні зобов'язання на певний період). Інший шлях – це заміна застарілого обладнання – новим.

Проте, задача при виборі нового вимикача є досить не простою. Існує велика кількість різних типів, конструкцій та виробників вимикачів (рис. 1), що ускладнює їх вибір, особливо в умовах відсутності досвіду експлуатації. Наприклад, в наш час виготовляються елегазові вимикачі на напругу 35 кВ, а вакуумні на напругу 110 кВ, але досвід експлуатації таких вимикачів значно менший ніж оливних та повітряних, або елегазових на клас напруги 110 кВ, а вакуумних на клас напруги 35 кВ.

Особливості вибору високовольтних вимикачів. Також при прийнятті виваженого рішення щодо типу та виробника нового ВВ, що встановлюються замість застарілого, потрібно враховувати не лише основні характеристики застарілого та нового вимикачів (наприклад, номінальну напругу, найбільшу робочу напругу, номінальний струм, номінальний струм вимкнення, вимоги до електричної міцності та комутаційної здатності, наскрізний струм короткого замикання, ресурс по механічній стійкості циклів при В-т-О, вимоги до конструкції, виготовленню та матеріалів, технічні характеристики приводів, кількість електромагнітів вмикання та вимкнення, комплектність поставки, вимоги до надійності, [1]), а й особливості їх використання за місцем експлуатації (наприклад, можливість вимкнення струму збудження, враховуючи пусковий струм з малою обмежуючою напругою без формування небезпечних перенапруг, сеймистійкість району встановлення, значення кліматичних факторів та інші).

Також варто враховувати періодичність та інтенсивність виконання операцій вмикання та вимкнення, що важливо при виборі генераторного чи лінійного вимикачів, тому, що ресурс по механічній стійкості у вакуумного вимикача більший ніж у елегазового. На класи напруги 6-35 кВ на прийнятті рішення при виборі ВВ впливають вартісні показники, тому, що споживачами таких вимикачів є невеликі компанії в яких на вищезгадані класи напруги встановлена набагато більша кількість вимикачів ніж на високі (110 кВ).

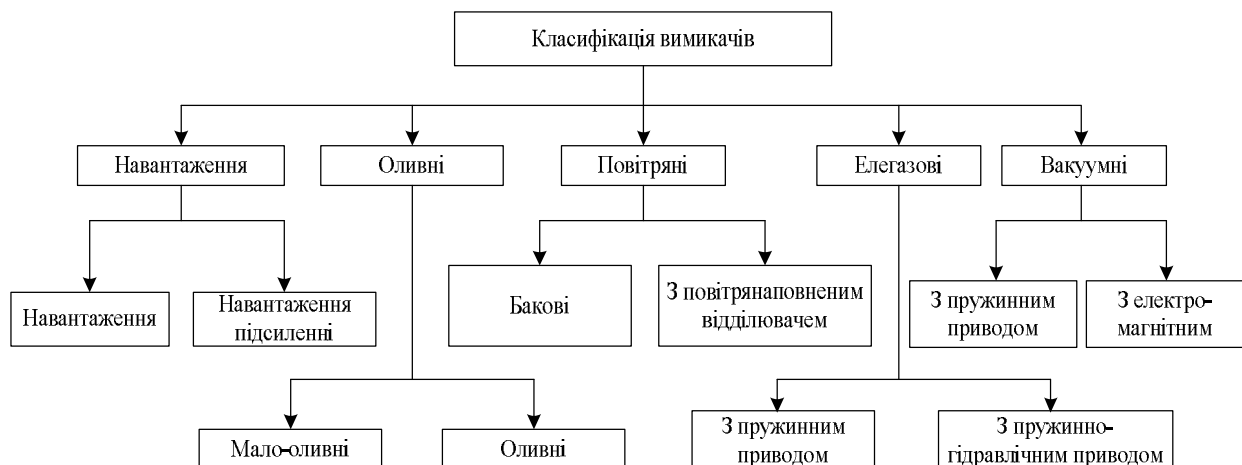


Рис. 1 Класифікація вимикачів

Дослідження зміни вартості вимикачів з урахування ремонтів під час експлуатації. Проведені дослідження (табл. 1) дозволили побудувати (рис. 2, криві 1 та 3) залежності вартості (В) нових повітряних та елегазових високовольтних вимикачів, впроваджених в ПЗЕС, від року виготовлення (Т), а також залежності витрат на проведення їх ремонтів під час експлуатації (рис. 2, криві 2 та 4) від року експлуатації. Для зменшення впливу інфляційних процесів на вартості вимикачів і ремонтів продовж досліджуваного періоду, ці вартості визначаються по відношенню до вартості електроенергії, яку продають обласні енергопостачальні компанії для споживачів I категорії. Початок координат відповідає 1986 року.

Таблиця 1

Результати досліджень вартості вимикачів (по роках)

Рік	2008	2009	2010	2011	2012
Вартість елегазового вимикача 110 кВ, грн	181546	212850	232306	275104	326505
Вартість електроенергії, грн	0,4046	0,5231	0,5678	0,6896	0,8377
Відносна вартість елегазового вимикача 110 кВ	$4,4 \cdot 10^6$	$4,2 \cdot 10^6$	$4,1 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^6$

Крива 1 та 3 показує залежність зміни відносних вартостей нового повітряного та елегазового вимикача (ЕВ) від року виготовлення. Ці залежності описуються виразами

$$V_{\text{в.о.}} = \frac{V_{\text{в.}}}{V_{\text{ел.}}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{в.}}$ – вартість вимикача,

$V_{\text{ел.}}$ – вартість електроенергії для споживачів першої категорії.

Крива 2 показує тенденцію зміни відносної вартості повітряного вимикача (ПВ) під час експлуатації з урахуванням витрат на проведення поточних та капітальних ремонтів, як самих вимикачів так і обладнання для підготовки стислого повітря. Крива 4 показує залежність зростання вартості елегазового вимикача під час експлуатації з урахуванням зростання сумарних витрат на проведення технічного обслуговування та витрат на закупівлі обладнання для роботи з елегазом.

Таблиця 2

Результати досліджень вартості проведення капітальних та поточних ремонтів (по роках).

Рік	2008	2009	2010	2011	2012
Вартість виконання КР В-110 кВ, грн	19000	26200	22400	26200	27300
Вартість виконання КР обладнання для підготовки стислого повітря, грн	36000	37000	38000	41000	42400

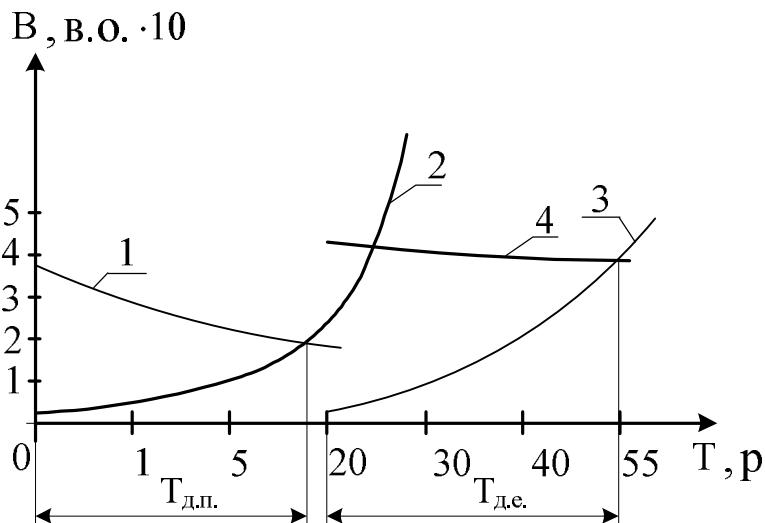


Рис. 2 Залежність зміни вартості повітряних та елегазових вимикачів під час експлуатації.

Аналіз отриманих залежностей дозволив виявити тенденції зростання відносної вартості ремонтів та спадання відносної вартості нових вимикачів. Точки перетину кривих 1 і 2, 3 і 4 свідчать про недоцільність продовження експлуатації повітряного та елегазового вимикача відповідно, якщо кошти, які витрачаються на виконання капітальних та поточних ремонтів перевищують вартість нового вимикача, що зумовлено зменшенням вартості вимикачів за рахунок вдосконалення виробництва раніше розроблених конструкцій. З рис. 2 видно, що прогнозований доцільний термін експлуатації елегазових вимикачів ($T_{\text{д.е.}}$) перевищує цей показник для повітряних вимикачів $T_{\text{д.п.}}$ і тому виправдано встановлювати нові елегазові вимикачі.

Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку високовольтних вимикачів є елегазові, у яких дуга гаситься більш ефективно у порівнянні зі стисненим повітрям чи оливою. З огляду на проблеми з продовженням терміну експлуатації оливних та повітряних вимикачів, останніми роками інтенсивно ведеться робота по їх заміні на елегазові. В наш час парк елегазових вимикачів значно поповнився великою кількістю закордонних вимикачів різних конструкцій і виробників.

Динаміка заміни оливних та повітряних вимикачів напругою 110-750 кВ на елегазові в Південно-Західній електроенергетичній системі зображена на рис. 3.

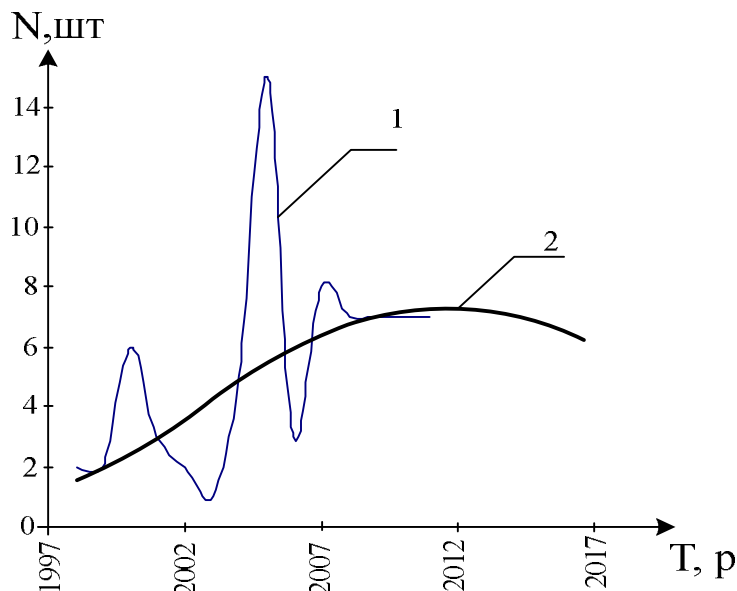


Рис. 3 Залежність кількості встановлених вимикачів від року монтажу чи введення в експлуатацію в ПЗ ЕС.

На рисунку 3 показані: 1 – залежність кількості замінюваних повітряних та оливних вимикачів напругою 110-750 кВ на елегазові від року заміни з 1998 року по 2011 рік включно, 2- залежність прогнозованої кількості замінюваних повітряних та мало-оливних вимикачів напругою 110-750 кВ на елегазові від року заміни з 1998 року по 2017 рік включно з урахуванням контракту компанії АВВ та ДП НЕК Укренерго, побудована за математичною моделлю процесу впровадження високовольтних вимикачів в ПЗ ЕС (2), яка була отримана за допомогою програмного забезпечення «Curve Expert».

$$N = \frac{k}{a_1 + a_2 \cdot k + a_3 \cdot k^\alpha} = \frac{k}{47977475 + 23878,229 \cdot k - 2140663,7 \cdot \sqrt{k}}, \quad (2)$$

де N – кількість вимикачів, k – рік встановлення, коефіцієнти: $a_1=47977475$ (рік), $a_2=23878,229$ (в.о.), $a_3=2149663,7$ (рік).

На даний момент, на підстанціях ПЗЕС встановлено 54 елегазових вимикачів таких типів, як: АВВ, Areva, Siemens, Alstom. Процес заміни застарілих вимикачів на нові, елегазові розпочався в 1998 р., тому проаналізуємо результати їх впровадження в ПЗЕС. У деяких з цих ЕВ закінчується паспортний термін експлуатації до проведення поточних ремонтів. Також в ПЗЕС є ЕВ, які введені в експлуатацію менше року назад. Досвіду експлуатації як тих елегазових вимикачів, які відпрацювали свій паспортний ресурс до першого капітального ремонту, так і вимикачів нових конструкцій, щойно введених в експлуатацію – не багато. Тому актуальною є задача оцінки технічного стану елегазових вимикачів в процесі їх експлуатації.

Вдосконалення методів та засобів діагностування. Проте, накопичений досвід експлуатації оливних, повітряних, елегазових і вакуумних вимикачів свідчить про їх відмови [2], які в більшості випадків пов'язані з пошкодженням приводів та дугогасильних камер. Тому потрібно вдосконалювати існуючі (рис. 4.) засоби технічного діагностування для виявлення, на ранній стадії, пошкоджень для різних типів вимикачів [3].

В ОАО «НТЦ Электроэнергетики» був проведений аналіз причин відмов високовольтних вимикачів [1]. Так в період з 1997-2007 роки було зафіксовано 62 відмови елегазових вимикачів (по Росії). Найбільша кількість відмов пов'язана з несправністю блоків відключення. Серед цих пошкоджень мали місце 7 відмов обігрівачаючого пристрою вимикачів типу Siemens, 3 відмови вимикачів АВВ LTB з причини пошкодження пристроїв сигналізації тиску, замикання вторинних кіл привода РЛК-222, несправності обігрівальних пристроїв, 1 раз по причині деформації латунних штовхачів супроводжуючих блок-контактів (СБК) та інші види пошкоджень. Також було зафіксовано обрив скло епоксидної тяги на вимикачі 110 кВ, спалення електромагнітів вимкнення.

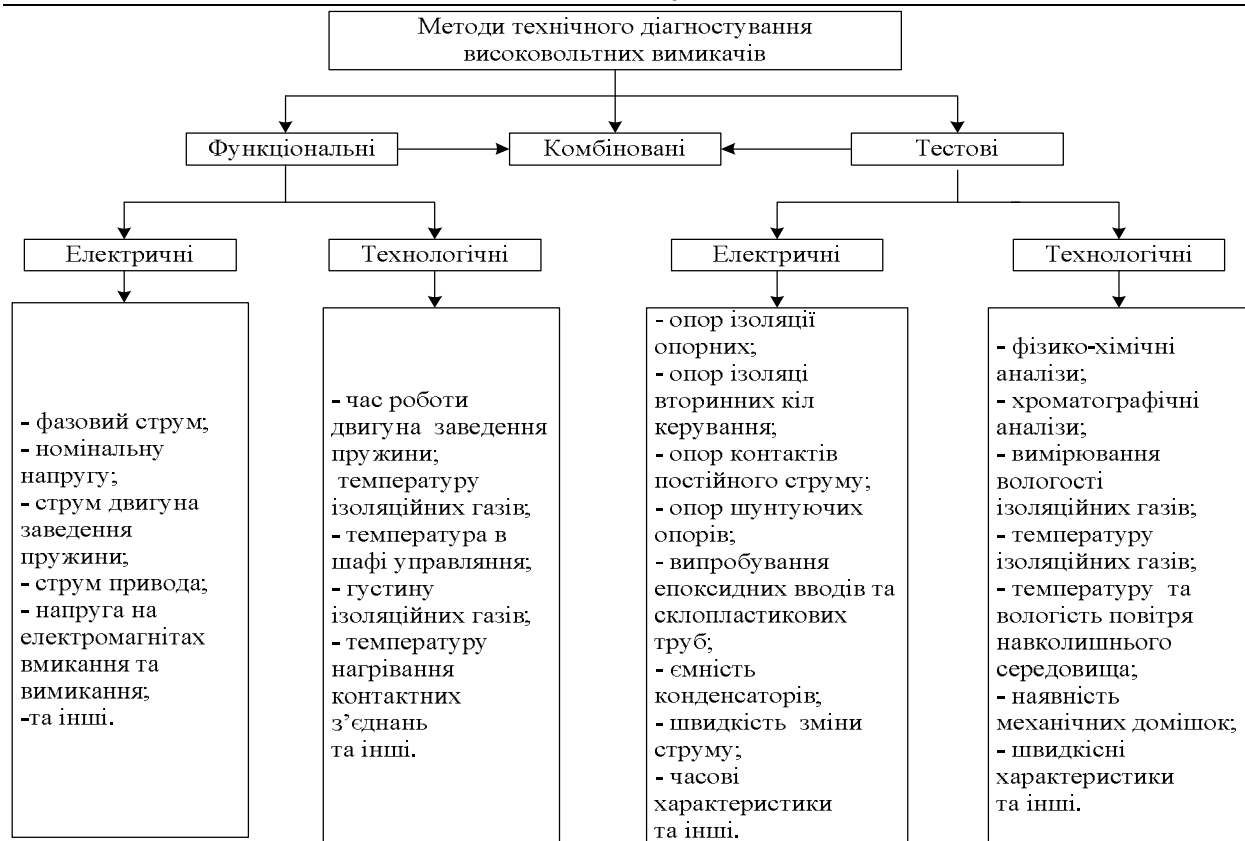


Рис. 4 Методи технічного діагностування високовольтних вимикачів

Так наприклад в 2006 році було зафіксовано відмови (блокування кіл управління) елегазових баків вимикачів 110-500 кВ виробництва ABB і AREVA по причині недостатньої потужності і низької надійності обігрівачів приладів баків, недостатків системи контролю тиску (густини) елегазу при температурі навколишнього середовища мінус 41 °С і нижче.

Одним з шляхів підвищення якості діагностування ВВ є вдосконалення існуючих методів та, реалізуючих ці методи, засобів діагностування, які широко використовують можливості мікропроцесорних елементів, систем та комплексів. Позитивною властивістю таких пристроїв та систем є зручна та інформативна графічна форма представлення результатів контролю діагностичних параметрів ВВ. Якщо співставити графіки двох процесів, то легко виявити відмінності в протіканні процесів погіршення технічного стану обладнання. Сучасні методи аналізу ВВ дозволяють виявити їх приховані дефекти, скоротити терміни проведення ремонтів і підвищити їх якість, це забезпечує підвищення надійності роботи вимикачів.

Наприклад, досить інформативним параметром ВВ, який контролюється сучасними мікропроцесорними системами діагностування є швидкісні характеристики.

На елегазових вимикачах швидкісні характеристики можна визначити, наприклад, за допомогою сенсорів кутового ДП21 та лінійного ДП11 переміщення. Проте визначення швидкісних характеристик для елегазових вимикачів різних підприємств-виробників обмежено конструктивними особливостями місць розташування цих, або подібних до них, сенсорів.

Тому актуальною постає задача вдосконалення методів та засобів контролю швидкісних характеристик для елегазових вимикачів в умовах експлуатації.

Як один із шляхів її вирішення, запропоновано контролювати струм тестового сигналу високої частоти, який протікає між контактами вимикача (3). Врахування величини цього струму на різних частотах дозволяє підвищити точність контролю стану приводу вимикача та дугогасильної камери [4].

$$i(t) = \frac{U}{\frac{A \cdot B}{C} + R_1}, \quad (3)$$

де U – напруга джерела тестового сигналу,

$$A = \left(\frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3 - i \cdot \omega \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot (C_2 + C_3)} + \frac{R_5}{1 - i \cdot \omega \cdot R_5 \cdot C_5} \right), \quad B = \left(\frac{R_4}{1 - i \cdot \omega \cdot R_4 \cdot C_4} \right),$$

$$C = \left(\frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3 - i \cdot \omega \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot (C_2 + C_3)} + \frac{R_5}{1 - i \cdot \omega \cdot R_5 \cdot C_5} \right) + \left(\frac{R_4}{1 - i \cdot \omega \cdot R_4 \cdot C_4} \right),$$

де R_1 – активний опір сенсора, приєднаний послідовно до джерела тестового сигналу, Z_2 – повний опір між контактами дугогасильної камери, який складається з ємнісного X_2 (опір ємності C_2) та активного R_2 (опір ізоляції між контактами) опорів, Z_3 – повний опір контактів відносно фарфорової ізоляції для повітряного та елегазового вимикачів, який складається з ємнісного X_3 (опір ємності C_3) та активного R_3 (послідовно з'єднані два активних опори та послідовно з'єднані два ємнісні опори) опорів, Z_4 та Z_5 – повні опори рухомого та нерухомого контактів відносно заземлених частин вимикача, які складаються з ємнісних X_4, X_5 (опір ємностей C_4, C_5) та активних R_4, R_5 (R_4, C_4 – опір та ємність ізоляції рухомого контакту відносно заземлених частин вимикача; R_5, C_5 – опір та ємність ізоляції нерухомого контакту відносно заземлених частин вимикача) опорів.

Висновки.

В наш час в експлуатації знаходяться багато ВВ як відпрацювали понад 25 років і потребують заміни. Підприємства виробники пропонують велику кількість нових моделей ВВ, по яким в Україні малий досвід експлуатації. Це ускладнює їх вибір під час заміни.

З метою підвищення надійності експлуатації нових моделей вимикачів потрібно вдосконалювати існуючі методи та засоби їх діагностування. Перспективним є вдосконалення методу контролю швидкісних характеристик шляхом контролю струму тестового сигналу, що проходить між контактами вимикача під час його вмикання або вимикання.

Література

1. Норми випробовувань електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302: 2007. – К. : ГРІФРЕ, М-во палива та енергетики України. Об'єднання енергетичних підприємств, ДП МОУ «Воєнне видавництво України «Варта», 2007. – 262 с. (Нормативний документ мінпаливенерго України. Норми).
2. Тимашова Л.В. Анализ повреждаемости выключателей 110-750 кВ / Л.В. Тимашова, И.Л. Шлейфман, И.А. Назаров / Материалы V международной научно-технической конференции «Высоковольтное коммутационное оборудование». Москва. – 2009. – 8 с. Електронний ресурс: http://gendocs.ru/docs/13/12153/conv_21/file21.pdf.
3. Кутин В.М. Диагностирование электрооборудования электрических систем: Учеб. Пособие / В.М. Кутин, В.И. Брейтбурд. – К.: УМК ВО, 1991. – 104 с.
4. Кутін В.М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів / Кутін В.М., Рубаненко О.С., Мисенко С.В // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. № 1 С.109-113.

Надійшла 16.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Грабко В.В.

АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ТЕСТІВ ДЛЯ АВТОНОМНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

В роботі визначено загальний підхід до розробки алгоритму побудови тестів пошуку несправності радіоелектронних пристроїв для електромагнітного методу діагностування. Використання графічної схеми об'єкта діагностування у вигляді структурної моделі дає можливість розробки алгоритму обробки діагностичної інформації в контрольній точці, що забезпечує виявлення заданих несправностей.

Ключові слова: метод, алгоритм, графічна схема, об'єкт діагностування, тест.

The paper defines a general approach to the development of algorithm for constructing tests troubleshooting electronic devices for electromagnetic method of diagnosis. Using graphical object schema as diagnosing structural model enables the development of processing algorithm of diagnostic information at the reference point that provides specified fault detection

Key words: methods, algorithms, graphical schema, object of diagnostics, test.

Вступ. Сучасні об'єкти радіоелектронної техніки (РЕТ) представляють собою складні технічні системи, що представляють собою об'єднання модулів різного фізичного виконання й призначення. Широка номенклатура цифрових пристроїв, що використовуються в об'єктах РЕТ, їх багатофункціональність висувають жорсткі вимоги до засобів діагностування з точки зору забезпечення заданого рівня тривалості діагностування, при забезпеченні необхідної достовірності [1, 2]. Забезпечити висунуті вимоги можна застосуванням нових ефективних принципів, методів і засобів для розробки сучасних засобів діагностування об'єктів РЕТ на основі нових ефективних методів діагностування.

Аналіз стану проблеми. До складу об'єктів РЕТ входять цифрові радіоелектронні пристрої (РЕП). Проведення якісного контролю технічного стану цифрових РЕП залежить від методу діагностування. Перспективним методом діагностування РЕП являється електромагнітний метод [3, 4]. Суть електромагнітного методу діагностування радіоелектронних пристроїв полягає в тому, що в якості діагностичних параметрів використовується параметри сигналів, що наводяться у «антенному» пристрої, що накладається на сам радіоелектронний компонент РЕП. Робота РЕП супроводжується зміною електромагнітного поля навколо нього. Потужність випромінювання радіоелектронних компонентів РЕП являється достатньою, щоб згенерувати у «антенному» пристрої сигнали, параметри яких можна використовувати у якості діагностичних. Експериментальні дослідження показали, що при вимірі даних діагностичних параметрів виконуються вимоги прояву й транспортування будь-якого дефекту в контрольну точку.

Постановка задачі. Для побудови сучасних автономних автоматизованих систем технічного діагностування з використанням електромагнітного методу завдання розробки алгоритмів побудови тестів для виявлення несправностей радіоелектронних пристроїв формулюється наступним чином [5]:

дано принципову схему об'єкта діагностування; еталонні значення відгуку кожного радіоелемента в контрольній точці при його переключенні; обмеження на структуру об'єкта діагностування, глибину пошуку несправності, які визначаються допустимим рівнем обробки інформації, що знімається в контрольній точці;

необхідно розробити алгоритм побудови тестів для виявлення несправностей радіоелектронних пристроїв електромагнітним методом.

Основна частина. Особливістю математичного подання радіоелектронних пристроїв для діагностування електромагнітним методом являється можливість представлення об'єкта діагностування у вигляді одновірних активізуючих шляхів. Рішення поставленого завдання розглянемо на прикладі об'єкта діагностування, що представлений на рис. 1. Згідно з [5] об'єкт діагностування можна подати у вигляді структурної моделі, що представляє собою графічну схему, яка визначається таблицею з'єднань елементів (Табл. 1). В даній таблиці всі зв'язки між елементами представлено у вигляді елементарних шляхів $\Pi_{g_i x_j}$.

Одновірний шлях O_{ij} є шляхом проходження сигналу від точки i об'єкта діагностування до точки j , в якому елементи спрацьовують послідовно.

Згідно з [5] одновірний шлях O_{ij} повинен проходити через елементарні і тільки елементарні шляхи $\Pi_{g_i x_1}$, $\Pi_{g_{i+1} x_2}$, K , $\Pi_{g_k x_j}$.

Чутливість елементарного шляху $\Pi_{g_i x_j}$ проявляється тільки тоді, коли при зміні вхідної змінної x_i може відбуватися перемикання елементів E_i та E_j . Такий шлях назовемо чутливим елементарним шляхом $r_{g_i x_i}$.

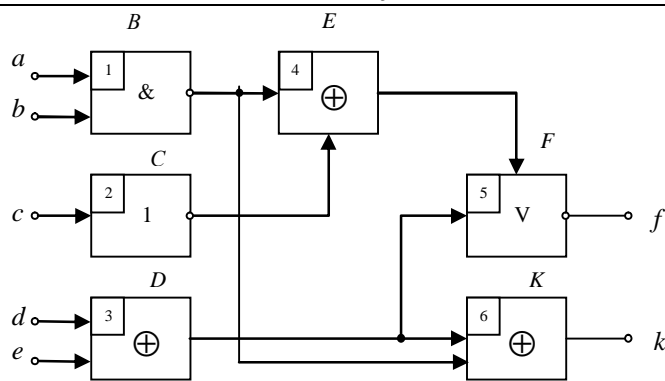


Рис. 1. Принципова схема об'єкта діагностування

Таблиця 1

№ п/п	Елементарний шлях	Тип елемента
1	a – 1	$\overline{\&}$
2	b – 3	$\overline{\&}$
3	c – 2	$\overline{\&}$
4	d – 3	\oplus
5	e – 3	\oplus
6	1 – 4	\oplus
7	1 – 6	\oplus
8	2 – 4	\oplus
9	3 – 5	$\overline{\&}$
10	3 – 6	\oplus
11	5 – ж	вих
12	6 – з	вих

Активізований чутливий елементарний шлях $A_{g_i x_j}$ представляє собою чутливий елементарний шлях $r_{g_i x_j}$, на зовнішні входи елементів i та j якого подано такі змінні, при яких безумовно забезпечується перехід елементів із одного стану в інший при зміні змінної на внутрішньому вході шляху.

Для визначення несправності в активізованому шляху необхідно, щоб виконувалась наступна умова: якщо вся множина чутливих одномірних шляхів M_0 , в яку не входить одномірний активізований шлях A_{ij} що перевіряється, деактивізована, то несправність транспортується в контрольну точку при перевірці одномірного активізованого шляху A_{ij} .

Для активізації шляху необхідно розробити тести. При цьому частинний тест елемента, що входить в елементарний шлях $\Pi_{g_i x_j}$, є частинним тестом цього шляху. Сукупність частинних тестів елементів, що входять в шлях представляє собою вектор T_{in} .

Вектор T_{in} є тестом для одномірного активізованого шляху, паралельно з елементами якого спрацьовують елементи дезактивізованих шляхів при будь-якій кратності несправностей і кратних несправностей при k -рівневій обробці.

Множина $M_{T_{in}}$ частинних тестів T_{in} одномірних активізованих шляхів є тестом $T_{од}$ об'єкта діагностування.

Для вищезначеного об'єкта діагностування розроблено алгоритм побудови тестів пошуку несправності, що полягає в наступному:

1. За початок одномірного шляху O_{ij} приймають вхідну змінну $x_i (i = \overline{1, m})$. Виключають її із множини змінних M_{x_i} . При розгалуженні вхідної змінної x_i утворюють множину одномірних шляхів M_{0i} .

2. В одновірний шлях O_{ij} включають тільки один елемент E_i із рангу $R_i (i = \overline{1, l})$ з одним із входів $x_i = (\overline{1, 2})$. Решта входів $(x_i - 1)$ елементів одновірного шляху O_{ij} є зовнішніми входами.

3. Утворюють множину елементів M_{gx} , що входять в одновірний шлях O_{ij} .

3а. Для цього, починаючи з першого елемента, обчислюють часткові похідні $\frac{\partial y_g}{\partial x_g}$ від функцій, що реалізуються кожним з елементів одновірного шляху. Якщо $\frac{\partial y_g}{\partial x_g} \neq 0$, то елемент включають в одновірний шлях, в протилежному випадку переходять до П.9.

4. Визначають множину вхідних наборів \mathcal{X}_a , що активізують зовнішні входи одновірного шляху O_{ij} (умова необхідності або умова проявлення несправностей в контрольній точці).

4а. Утворюють множину наборів \mathcal{X}'_a наступним чином: на входи елементів, для яких $\frac{\partial y_g}{\partial x_g} = 1$, подають змінну, рівну 0, а для $\frac{\partial y_g}{\partial x_g} \neq 1$, що рівна 1.

4б. Просувають множину \mathcal{X}'_a до входів об'єкта діагностування і отримують нову множину \mathcal{X}_a , яка є надлишковою.

4в. Із множини \mathcal{X}_a виключають набори, в яких одна і та сама змінна для різних елементів приймає протилежне значення, і отримують множину \mathcal{X}_a .

5. Визначають множину вхідних наборів \mathcal{X}'_{da} , що деактивізують всі одновірні шляхи, окрім шляху O_{ij} , що перевіряється (умова достатності або умова транспортування несправності в узагальнену контрольну точку).

5а. Утворюють множину наборів \mathcal{X}'_{da} . Для цього визначають часткові похідні і прирівнюють їх до 0.

5б. Просувають множину \mathcal{X}'_{da} до входів об'єкта діагностування і отримують нову множину \mathcal{X}_{da} .

5в. Із множини \mathcal{X}_{da} виключають набори, в яких одна і та сама змінна для різних елементів приймає протилежне значення, і отримують множину \mathcal{X}_{da} .

6. Визначають перетин множин $\mathcal{X}_b = \mathcal{X}_a \cap \mathcal{X}_{da}$.

6а. Якщо $\mathcal{X}_b \neq \emptyset$, то його запам'ятовують, визначають відгук в узагальненій контрольній точці \tilde{y}_c і переходять до П.9.

7. Визначають множину вхідних наборів \mathcal{X}'_{da} , що деактивізують всі одновірні шляхи, крім одного, елементи якого можуть спрацьовувати одночасно з елементами одновірного активізованого шляху A_{ij} , що перевіряється. Далі П.5а – П.5в. Якщо $\mathcal{X}_b \neq \emptyset$, то його запам'ятовують і переходять до П.9, при $\mathcal{X}_b = \emptyset$ переходять до П.8.

8. Визначають множину вхідних наборів \mathcal{X}'_{DA} , що деактивізують всі одновірні шляхи, крім $u (u = \overline{2, 5})$, елементи яких можуть спрацьовувати паралельно з елементами одновірного активізованого шляху A_{ij} , що перевіряється. При цьому k - допустимий рівень обробки.

8а. Приймають $u = 2$. Переходять до П.5.

8б. Якщо $u = k$ та $\mathcal{X}_b \neq \emptyset$, то знижують вимоги до глибини і достовірності контролю.

8в. Якщо задані глибина і достовірність контролю не можуть бути змінені, то використовують метод інжекції при виділенні одновірного активізованого шляху A_{ij} .

9. Якщо $\frac{\partial y_g}{\partial x_g} = 0$, то повертаються до найближчого розгалуження. Розгалуження виключають із множини M_p . Із визначеного раніше одновірного шляху виключають відрізок до першого розгалуження, а

замість нього додають новий відрізок після розгалуження. Якщо $M_p \neq 0$, то П.2, в протилежному випадку П.10.

10. Обирають наступну вхідну змінну, виключають її з множини змінних M_{x_i} . Якщо $M_{x_i} \neq 0$, то П.1, в протилежному випадку П.11.

11. Мінімізація множин \tilde{X}_B .

11а. Якщо елементи одномірного шляху, що перевіряється за допомогою k -рівневої обробки, входять в інші одномірні шляхи, то цей шлях виключається.

11б. Із множин \mathcal{X}_B обирають тільки по одному набору, причому такому, щоб попередній перевіряючий був підготовчим для наступного.

11в. По кількості елементів, що спрацювали в одномірному активізованому шляху визначають еталонний відгук в узагальненій контрольній точці, що відповідає T_{in} .

12. Побудова вхідної тестової послідовності \mathcal{X}_B для об'єкта діагностування проводиться так само, як і для елемента, тобто будується урізана таблиця спрацювань (УТС) для об'єкта діагностування:

- “Шлях, що перевіряється” – всі виділені одномірні шляхи;
- “Вхідний набір” – номери наборів для всіх одномірних шляхів;
- “Спрацювання” – номери елементів (по рангам); якщо елемент входить в одномірний шлях, то в клітинці, що відповідає цьому елементу, проставляється кількість одиниць, що відповідає відгуку елемента в узагальненій контрольній точці. В протилежному випадку клітинка залишається порожньою;
- “Кількість спрацювань” – сумарна кількість одиниць у відповідній строчці;
- “Разом” – сумарна кількість одиниць у відповідному стовпчику.

13. Побудова перевіряючого тесту складається з вибору із УТС стовбців “Шлях, що перевіряється”, “Вхідний набір” і “Кількість спрацювань”. Працездатність об'єкта діагностування визначають шляхом ідентифікації еталонних значень n у стовпчиках “Кількість спрацювань” з отриманими при контролі об'єкта діагностування. При цьому порівняння повинно проводитися на кожному із наборів. Якщо хоча б на одному з наборів рівність порушується, то об'єкта діагностування приймають несправним.

14. Побудова тесту локалізації несправності. При локалізації дефекту УТС використовується повністю. По вимірним значенням \tilde{Y} проводять побудову УТС. Аналіз здійснюється по стовбцям “Стани”. Несправний елемент визначають шляхом ідентифікації еталонних значень m в строках “Разом” з отриманими при контролі об'єкта діагностування. Елемент першого стовпця, в якому порушується рівність, приймається несправним.

Висновок. На основі проведених в [5] теоретичних досліджень розроблено алгоритм побудови тестів пошуку несправності радіоелектронних пристроїв для електромагнітного методу. Даний алгоритм дозволяє будувати перевіряючий тест і тест пошуку несправності для автономних автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектронної техніки.

Література

1. Шкуліпа П.А. Шляхи і методи підвищення ефективності автономних автоматизованих систем технічного діагностування радіоелектронних пристроїв спеціального призначення / П.А. Шкуліпа, М.К. Жердев, С.В. Ленков, Ю.О. Гунченко // Журнал «Сучасна спеціальна техніка», 2012. – № 3 (30). – С 69 – 74.
2. Шкуліпа П.А. Основні напрямки розвитку автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектроніки / П.А. Шкуліпа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2012. – № 6. – С.192 – 194.
3. Шкуліпа П.А. Діагностична модель радіоелектронного пристрою об'єкта радіоелектронної техніки для електромагнітного методу діагностування / П.А. Шкуліпа, С.В. Ленков, О.В. Карпенко // Науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» Одеський національний морський університет. – Одеса, 2012. – С.137 – 139.
4. Шкуліпа П.А. Перевірка адекватності діагностичної моделі радіоелектронного компонента для електромагнітного методу діагностування / П.А. Шкуліпа, С.В. Ленков, С.І. Глухов // Вестник научных трудов Восточноукраинского национального университета им. В. Даля». – Луганск, 2012. – № 8 (179). – Ч.1. – С.106 – 110.
5. Шкуліпа П.А. Розробка перевіряючих тестів для діагностування радіоелектронних пристроїв електромагнітним методом / П.А. Шкуліпа // Наукові нотатки постійно діючого семінару науковців, здобувачів та ад'юнктів. Вип. № 24. – К: ВІКНУ, 2013. – С.3– 26.

Надійшла 23.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.

СТАБІЛІЗАЦІЯ ЧАСТОТИ НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ТЕРМОСТАТУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

В роботі представлено дослідження впливу термостатування синтезаторів та генераторів частот на стабільність вихідної частоти. Показано що, активне термостатування має деяку затримку реакції охолоджуючої та системи підігріву, відносно внутрішньої температури мікроелектронного модуля. Запропоновано використовувати активну систему термостатування із передбаченням внутрішньої температури мікроелектронного модуля. Струм споживання модуля запропоновано використовувати як основний параметр для передбачення температури модуля. Запропоновано алгоритм роботи та структурну схему системи.

Ключові слова: частота, стабільність, термостатування.

This paper presents the study of thermal effects and synthesizers oscillator frequency stability of the output frequency. Shown that, active thermal control has some delay reaction cooling and heating system, a relatively internal temperature microelectronic module. Active thermal control system with predictive internal temperature microelectronic module proposed to use. Current consumption of module offered to use as the main parameter to predict the temperature of the module. The algorithm operation and block diagram of the system proposed.

Keywords: frequency, stability, stabilization of temperature.

Вступ Побудову радіоелектронних пристроїв різноманітного призначення на сучасному етапі розвитку техніки неможливо уявити без застосування мікроелектронних пристроїв. Такими є мікросхеми та мікросборки. Застосування саме таких пристроїв обумовлено їх масогабаритними параметрами, відмінною повторюваністю, покращеними електричними, часовими, частотними та тепловими характеристиками. Проте при вирішенні деяких задач окремі характеристики все одно не можуть забезпечити необхідної стабільності частоти, коефіцієнту підсилення, точності перетворення тощо. Значною мірою на нестабільність цих параметрів впливає температура мікроелектронного пристрою.

В багатьох роботах проводиться розробка та дослідження різних способів стабілізації частоти генераторів електричних сигналів. Серед усіх підходів до вирішення даної задачі є термостабілізація та термостатування. Термостатування передбачає забезпечення стабільної температури пристрою шляхом встановлення його у термостат із елементами підігріву та охолодження. Для контролю температури корпусу застосовуються відповідні здавачі температури [1,2]. Отже, найбільш перспективним способом є активне термостатування.

При активному термостатуванні навантажений радіокомпонент встановлюють у термостат обладнаний трьома необхідними елементами: термодавачем, пристроєм нагріву та пристроєм охолодження. Такий підхід дозволяє забезпечити точність підтримання до 0,03 °С, що дозволило досягнути значень температурного коефіцієнта частоти (ТКЧ) близько $10^{-7} 1/^\circ\text{C}$ [1]. При цьому вихідна потужність збільшилась на 20-25 %. Одночасно покращились інші характеристики модуля. Для подальшого покращення характеристик будь-якого генератора електричних сигналів особливо в області високочастотних пристроїв потрібно шукати методи, які б дозволили ще більше знизити ТКЧ.

Основна частина Розглянемо процес виділення тепла та теплопередачі мікроелектронного модуля. На рисунку 1 представлено графічне зображення мікроелектронного модуля в корпусі.

До подачі на модуль електричного живлення, його температура дорівнює температурі навколишнього середовища та корпусу:

$$T_{MM} = T_K = T_{н.с.} \quad (1)$$

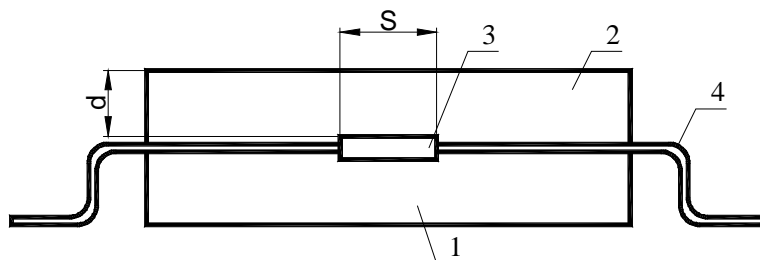


Рис. 1. Мікроелектронний модуль в корпусі (1- основа корпусу, 2 – верхня частина корпусу, 3- мікроелектронний модуль, 4 – вивода живлення та електричних сигналів)

Після подачі на мікроелектронний модуль живлення, через нього починає протікати електричний струм, що призводить до виділення на ньому деякої кількості тепла, пропорційної струму, напрузі та часу проходження струму, відповідно до закону Джоуля-Ленца [3]. Це тепло збільшує температуру

мікроелектронного модуля на ΔT_{MM1} . Внаслідок чого різниця температур між зовнішньою по верхню корпусу та внутрішньою поверхнею корпусу збільшується і відбувається процес теплопередачі до зовнішньої поверхні корпусу. Даний процес описується виразом [4,5]:

$$W = l \frac{t_c^I - t_c^{II}}{d} S t, \quad (2)$$

де l – коефіцієнт теплопровідності; d – товщина зразка; t_c^I – температура першої сторони зразка; t_c^{II} – температура другої сторони зразка; S – площа теплопередачі; t – час теплопередачі.

З виразу (1) видно що для забезпечення стабільного температурного режиму, тобто забезпечення швидкої теплопередачі від нагрітого тіла до холодного, можна використати декілька підходів. По-перше, використати матеріал з більшою теплопровідністю. Але при забезпеченні температурного режиму мікроелектронного модуля це не виявляється можливим, тому як корпус пристрою виготовляють із матеріалів які забезпечують необхідну електричну і механічну міцність. По-друге, можна змінити геометричні розміри, тобто зменшити товщину і збільшити площу. Але і цей підхід не є можна реалізувати через те що і цьому випадку погіршаться і міцність корпусу, і збільшаться його габарити. По третє, можна збільшити час теплопередачі, але в цьому випадку необхідно забезпечити повільний нагрів модуля, а, отже, і це призведе до погіршення експлуатаційних характеристик – зменшення швидкодії пристрою, зменшення навантажувальної спроможності тощо. Останнім способом є збільшення різниці температур між зовнішньою і внутрішньою частинами корпусу. Цей спосіб є єдиним який реалізуються для забезпечення термостатування електронних пристроїв.

Для забезпечення температурного режиму електронних модулів, на зовнішній стороні встановлюють термодавач, якій сигналізує про необхідність ввімкнення елементів термостатування – охолодження чи нагріву. При застосування активної системи термостатування використовують напівпровідникові термоелектричні елементи, що працюють на ефекті Пельтьє, та активні нагрівальні елементи.

При нагріві мікроелектронного модуля тепловіддача відбувається до зовнішньої сторони не одразу, а через деякий час. Відповідно реакція охолодження на підвищення температури модуля відбувається не одразу а через деякий час Δt , яка визначається затримкою теплопередачі. Таким чином, застосування термодавача на зовнішній стороні корпусу мікроелектронного модуля не дозволяє значно підвищити ефективність активної системи стабілізації частоти.

Встановлення термодавача всередині корпусу мікроелектронного модуля не є виправданим з двох причин. По-перше, це призведе до подорожчання мікроелектронного модуля. По-друге, інерційність перетворення температура-електричний сигнал так саме буде призводити до затримки реакції системи термостатування на підвищення чи зниження температури модуля.

Найбільш ефективним є система активного термостатування із передбаченням зміни температури мікроелектронного модуля. Основною особливістю такої системи повинна бути можливість проводити оцінку майбутньої зміни температури, на відміну від реєстрації цих змін, і формування сигналів на термостатування.

Усі зміни температури електронних пристроїв відбуваються внаслідок споживання пристроєм електричної потужності. Уся електрична потужність споживана пристроєм використовується на виконання двох функцій. По-перше, на забезпечення роботи модуля. По-друге, на забезпечення навантажувальної спроможності пристрою.

Внаслідок того що усі синтезатори частоти є цифровими пристроями, а також більшість генераторів електричних сигналів мають елементи цифрової схемотехніки, споживана потужність яка використовується є змінною у часі. Зміна споживання електричної потужності, в цьому випадку пояснюється зміною тактової частоти, швидкодії пристрою, псевдовипадковим характером появи різних логічних рівнів. Усе це призводить до нерівномірного у часі споживання електричної енергії.

З іншого боку, підключення до виходу цифрового синтезатора частоти чи генератора частоти навантаження призводить до відбору електричної потужності з виходу. Для цього енергія відбирається по колам живлення від джерела живлення. Причому, відбір потужності з виходу є також випадковим процесом, тому як енергія синтезатора чи генератора використовується лише у час підключення зовнішніх кіл до виходу, які перетворюють сигнали з синтезатора або генератора для виконання функцій електронного пристрою в склад якого входить синтезатор або генератор.

Отже є пряма залежність між споживаною потужністю та температурою мікроелектронного модуля. А на споживану потужність впливають струм, що протікає через модуль по колам живлення та напруга живлення. Тому як напруга живлення модуля є постійною, то можна вважати що температура модуля знаходиться залежно від споживаного по колам живлення електричного струму:

$$T_{MM} \sim i(t). \quad (3)$$

Враховуючи те що нагрівання модуля не відбувається миттєво при зміні споживано струму, а з деякою затримкою, то природи струму якій протікає по колам живлення можна використовувати для передбачення змін температури модуля.

Одним з найважливіших параметрів електрорадіоелементів є тепловий імпеданс $Z_T(w)$, що характеризує здатність електрорадіоелемента відводити тепло, що виділяється в ньому, при розсіюванні електричної потужності [4]. Тепловий імпеданс (за аналогією з електричним імпедансом) визначає амплітуду змінної складової температури активної області елемента \tilde{T}_m при зміні потужності що розсіюється за гармонійним законом $P(t) = P_0 + P_m \sin wt$.

$$P_m = Z_T R_m. \quad (4)$$

Тепловий імпеданс $Z_T(w)$ є комплексною функцією частоти w і пов'язаний з функцією відгуку температури елемента $\Theta(t)$ на d -подібний імпульс потужності відомим співвідношенням

$$\Theta(t) = \frac{1}{2p} \int_{-\infty}^{\infty} Z_T(w) e^{jw t} dw. \quad (5)$$

Вид функції $Z_T(w)$ визначається конструкцією і теплофізичними параметрами конструкційних матеріалів електрорадіоелемента. Для елементів, що мають складну конструкцію (наприклад, напівпровідникових приладів) тепловий імпеданс зазвичай записується у вигляді [5]:

$$Z_T(w) = \sum_{i=1}^n \frac{R_{Ti}}{1 + jw t_{Ti}}, \quad (6)$$

де R_{Ti} – тепловий опір i -го шару, $t_{Ti} = R_{Ti} C_{Ti}$ – теплова постійна часу i -го шару, а C_{Ti} – відповідно, теплоємність i -го шару. Зазначимо, що в силу інерційності теплових процесів $|Z_T| \rightarrow 0$ при $w \rightarrow \infty$. З іншого боку, при $w \rightarrow 0$ тепловий імпеданс наближається до значення теплового опору приладу:

$$Z_T(w) \cong R_T = \sum_{i=1}^n R_{Ti}. \quad (7)$$

Виходячи з виразу (7) випливає що, при розробці системи термостатування для пристроїв із нешвидкою зміною температури, можна використовувати поняття теплового опору замість теплового імпедансу. Для радіоелектронних пристроїв та мікроелектронних модулів тепловий опір є довідковим параметром.

В загальному випадку, при зміні у часі потужності яка розсіюється модулем, змінюється і температура модуля у часі:

$$T_{MM}(t) = R_T P_m(t). \quad (8)$$

У загальному випадку при невеликій зміні температури ΔT робочого тіла модуля щодо деякого стаціонарного значення T_0 ($T_0 \gg \Delta T$) активний опір модуля можна описати лінійною функцією виду:

$$R_t = R_0 (1 + a \Delta T), \quad (9)$$

де R_t – опір модуля при температурі $T_0 + \Delta T$, R_0 – опір модуля при заданій температурі навколишнього середовища T_0 , a – температурний коефіцієнт опору (ТКО) модуля [1/К].

Для таких елементів можна запропонувати інший спосіб перетворення в електричний сигнал, заснований на ефекті множення частоти [6].

При пропусканні через модуль струму що змінюється і який гріє модуль, $I(t)$ зміна температури робочого тіла модуля в результаті саморозігріву буде «відслідковувати» зміна миттєвої потужності, що розсіюється модуля:

$$\Delta T = Z_T P(t) = Z_T R_t I^2(t), \quad (10)$$

де через Z_T позначено тепловий опір (у загальному випадку – модуль теплового опору) модуля. Підставляючи (10) в (9), і розв'язавши отримане рівняння відносно ΔT , отримаємо:

$$\Delta T = \frac{Z_T R_0 I^2(t)}{1 - Z_T R_0 a I^2(t)}. \quad (11)$$

Якщо $Z_T R_0 a I^2(t) \ll 1$, тоді зміну температури можна записати з точністю до членів другого порядку малості по $\Delta T/T$:

$$\Delta T = Z_T R_0 I^2(t) (1 + Z_T R_0 a I^2(t)) = Z_T R_0 I^2(t) + Z_T^2 R_0^2 a I^4(t). \quad (12)$$

Отже, перегрів кристала модуля має залежність четвертого ступеню від споживаного струму. Залежність (12) можна використовувати для передбачення перегрів кристала та формування відповідних сигналів на охолодження модуля в корпусі.

Відповідно до (2) прискорення відводу тепла можна робити за рахунок збільшення різниці температури $t_c^I - t_c^{II}$. І саме в той час коли температура тільки починає підвищуватись в середині корпусу, необхідно зменшувати температуру на його зовнішній поверхні. Тоді можна досягнути постійності відводу надлишкового тепла $W = const$.

Отже, можна запропонувати наступний алгоритм роботи термостатуючої системи для забезпечення стабільності частоти синтезаторів та генераторів частот.

1) В режимі холостого ходу стабілізується температура в середині корпусу мікроелектронного модуля шляхом вимірювання температури на зовнішній поверхні корпусу та вихідної частоти.

2) Змінюючи температуру всередині корпусу шляхом нагріву чи охолодження зовнішньої поверхні корпусу, досягаємо необхідного значення вихідної частоти сигналу.

3) Підключаємо навантаження до синтезатора чи генератора частоти.

4) Вимірюємо зміну струму споживання по колам живлення за невеликий проміжок часу.

5) Розраховуємо зміну температури в середині корпусу.

6) Формуємо сигнали на зміну зовнішньої температури корпусу для досягнення постійності різниці температур на зовнішній чи внутрішній поверхнях корпусу.

7) Повертаємось до пункту 4).

В загальному структурна схема термостатуючої системи може бути представлена наступним чином (рис. 2).

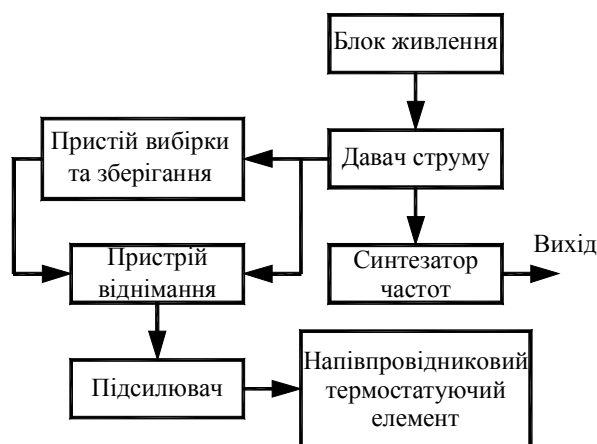


Рис. 2. Структурна схема активної термостатуючої системи із передбаченням

Дана структурна схема виконує вимірювання струму за два періоди часу, який визначається часом запам'ятовування у пристрої вибірки та зберігання. Знаходячи різницю струму і підсилюючи відповідно до виразу (12), формуються сигнали на охолодження чи нагрівання напівпровідникового термостатуючого елементу. Стабілізація температури кристалу на постійному рівні дозволяє стабілізувати вихідну частоту синтезатора частоти чи генератора.

Висновки Для подальшого покращення алгоритму активної системи термостатування із передбаченням необхідно контролювати не тільки струм споживання, але і температуру на зовнішній поверхні корпусу та вихідну частоту.

Література

1. Кравченко А.В. Активное термостатирование полупроводниковых СВЧ-генераторов / А.В. Кравченко, С.В. Плаксин, И.И. Соколовский // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2005, № 3, С.63-64.
2. Хоменко И.В. Терморегулятор термостатированного генератора и способ настройки данного терморегулятора. Патент России № 2463700, 20.04.2011, Опубл. 10.10.2012, Бюл. № 28.
3. Закс Д. И. Параметры теплового режима микросхем / Д. И. Закс. – М.: Радио и связь. 1983. – 176 с.
4. Конструкции корпусов и тепловые свойства полупроводниковых приборов / Под общ. ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергия, 1972– 120 с.
5. Сергеев В.А. Измерение параметров теплоэлектрической модели мощных полупроводниковых приборов / В.А. Сергеев, Н.Н. Горюнов, А.А. Широков. – Электронная техника, сер. 8, вып. 6., 1982. – С. 40-41.
6. Сергеев В.А. Умножитель частоты инфранизкочастотных сигналов на терморезисторе / В.А. Сергеев, А.Н. Васильев. Тезисы докладов II ежегодной школы семинара «Актуальные проблемы физической и функциональной электроники» – Ульяновск, УлГТУ, 1999 – с.37-38.

Надійшла 14.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.

МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ПОДІЛЬНИКА НАПРУГИ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ АЦП

Сформульовано набір взаємозв'язаних протиріч, які в комплексі формують проблему забезпечення єдності вимірювань та метрологічної надійності результатів аналого-цифрового перетворення в умовах обмеження трудомісткості метрологічного обслуговування аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Запропоновано шлях вирішення цієї проблеми, що базується на незалежному визначенні компонентів похибки перетворення. Доказано, що вимірювальний перетворювач на базі багаторезисторного подільника напруги, при усередненні спадів напруги на всіх резисторах цього подільника, є ідеальним вимірювальним перетворювачем, що дозволяє будувати ефективні системи повірки АЦП. Показано, що при корекції результатів перетворення нескоригована похибка пропорційна величині діапазону між точками визначення нелінійності. Це дозволило сформулювати методологію побудови багаторезисторних подільників напруги для повірки АЦП згідно вимог нормативних документів.

Ключові слова: повірка, метрологічна перевірка, подільник напруги, аналого-цифровий перетворювач.

There is formulated the set of contradictions, which together generates the problem of traceability of analog to digital conversion results and metrology reliability in the condition of limitation of metrology service of analog to digital converters. It is proposed to solve this problem by independent identification of all components of conversion's error. There is proved that measurement converter, which is based on multi-resistors voltage divider with averaging voltages of all resistors is ideal measurement converter. It provides designing effective ADC metrology testing systems. Also there is proved that uncompensated conversion error is proportional to the distance between nonlinearity testing points. It allows developing the methodology of design the multi-resistors voltage divider, which provides metrology testing of ADC according the requirements of active standards.

Keywords: calibration, metrological test, voltage divider, analog-to-digital converter.

Вступ

Розвиток технологій мікроелектроніки привів до широкого використання методів цифрового опрацювання даних в інформаційно-вимірювальних системах [1]. Необхідними компонентами таких систем є аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), які переважно виготовляються у вигляді інтегральної схеми або компонента системи на кристалі. Постійне збільшення кількості інформаційно-вимірювальних систем різного функціонального призначення, що знаходяться в експлуатації, їх інтеграція з комп'ютерними та комунікаційними мережами призводить до того, що збільшується і кількість АЦП, які підлягають державному метрологічному контролю [2]. Однією з ключових вимог державного метрологічного контролю є єдність результатів вимірювань, яка забезпечується організаційно-технічними засобами, зокрема, періодичними повірками. Але широкомасштабне тиражування АЦП, що вимагають повірки, зважаючи на її високу трудомісткість, а також обмежені ресурси уповноважених метрологічних лабораторій, вступає в протиріччя з вимогою забезпечення єдності результатів вимірювань і сприяє зменшенню метрологічної надійності результатів аналого-цифрового перетворення. Це протиріччя гостро ставить питання відповідного метрологічного забезпечення АЦП на всіх етапах життєвого циклу. Слід відзначити, що це протиріччя існувало завжди, однак відносно невелика кількість АЦП в експлуатації, а також їхня концентрація на великих підприємствах полегшували його вирішення. На сьогодні це протиріччя значно загострилося через лавиноподібне збільшення кількості АЦП, що вимагають повірки, їхнє розосередження та обмеженість ресурсів відповідних метрологічних лабораторій. Це призводить до того, що цілі групи АЦП (наприклад, АЦП, що входять в склад інформаційно-вимірювальних систем безпеки автомобілів) взагалі випадають з поля зору метрологічного нагляду, що веде до ймовірного порушення єдності вимірювань. Крім трудомісткості повірки для органів метрологічного нагляду, існує трудомісткість повірки для користувачів інформаційно-вимірювальних систем. Адже традиційна періодична повірка вимагає: зупинки системи, демонтажу АЦП, транспортування до/від лабораторії, власне повірки, монтажу та запуску системи. Це спонукає користувачів ухилятися від повірки, що, крім загрози втрати єдності вимірювань, підвищує небезпеку техногенних катастроф. Ще одне протиріччя виникає між неперервним характером багатьох технологічних процесів та необхідністю вилучення АЦП із складу системи на час повірки. Зупинка неперервного технологічного процесу веде до втрат, тому інтервал між повірками стараються максимізувати, що формує чергове протиріччя, адже збільшення цього інтервалу веде до зменшення метрологічної надійності результату перетворення. Крім того, також виникає протиріччя між складністю та функціональністю систем і метрологічною кваліфікацією їх розробників та обслуговуючого персоналу, які часто не можуть адекватно оцінити загрозу при невідповідності метрологічних параметрів АЦП вимогам.

Отже, масовий випуск і використання АЦП привів до загострення наявних і появи нових протиріч, усунення яких вимагає вирішення ряду науково-технічних задач. Ці задачі взаємно пов'язані, їх окреме вирішення не дозволить значно покращити ситуацію. Таким чином, розглянуті протиріччя формують проблему забезпечення єдності вимірювань та метрологічної надійності результатів аналого-цифрового перетворення в умовах обмеження затрат на метрологічне обслуговування АЦП. Їх вирішення має цілий ряд аспектів: наукові, технічні, економічні, організаційні. Очевидно, що первинними є наукові аспекти, вирішенню яких для одного з класів АЦП, а саме АЦП з неперервною функцією систематичної похибки, і присвячена дана робота. Необхідно відзначити, що саме такі АЦП є найточнішими на сьогоднішній день.

Аналіз методів забезпечення єдності результатів аналого-цифрового перетворення

Під час експлуатації АЦП єдність їх результатів перетворення забезпечується шляхом проведення періодичних повірок, процедура яких строго регламентована діючими нормативними документами [2, 3]. Згідно цих документів визначені класи засобів вимірювальної техніки, що повинні проходити повірку в уповноважених метрологічних лабораторіях. Метою повірки є встановлення придатності засобів вимірювальної техніки до застосування шляхом визначення їх дійсних метрологічних характеристик і порівняння з допустимими межами. Вимоги до повірки власне АЦП регламентуються у [4...8], де всі АЦП поділяються на наступні види:

1. АЦП з неперервною функцією систематичної похибки, зокрема, інтегруючі;

2. АЦП з функцією систематичної похибки, що може мати розриви, зокрема, порозрядного зрівноваження.

Для АЦП першого виду кількість точок повірки повинна бути не меншою п'яти. Згідно [4, 6], напруги точок повірки цих АЦП вибираються за формулами $X_1 = (0,1...0,15)X_D$, $X_2 = (0,2...0,3)X_D$, $X_3 = (0,4...0,6)X_D$, $X_4 = (0,7...0,8)X_D$, $X_5 = (0,9...1,0)X_D$, де X_D – діапазон перетворення АЦП. Згідно [5] напруги точок повірки АЦП $X_2...X_5$ вибираються аналогічно до [4, 6], змінено тільки значення точки $X_1 = (0,0...0,1)X_D$. Отже основні вимоги щодо повірки АЦП з неперервною функцією систематичної похибки є усталеними протягом більш, ніж тридцяти років.

Всього передбачено два методи повірки:

1. Порівняння, при якому вхідна величина одночасно подається на АЦП, що повіряють, і на взірцевий засіб вимірювання, похибка якого є суттєво меншою. Похибку АЦП знаходять як різницю результатів перетворення АЦП, що повіряють, і результатів вимірювання взірцевим засобом.

2. Калібрування, при якому на вхід АЦП, що повіряють, подають взірцеві сигнали (значення яких відомо з похибкою, яка є суттєво меншою) і порівнюють результати перетворення із значеннями вхідного сигналу.

Перший метод передбачає паралельне включення до АЦП, що повіряють, значно точнішого АЦП, що повинен бути повірений як взірцевий засіб вимірювання, тобто також вимагає повірки.

Другий метод вимагає менше обладнання, простіше автоматизується. Зазвичай його реалізують з допомогою калібраторів електричних величин [9] або кодокерованих мір [10]. Такі прилади складніші за АЦП і повинні бути повірені як взірцеві засоби вимірювання, тобто також вимагають метрологічного обслуговування.

Пропозиції включення в склад програмного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи підсистеми, що забезпечує метрологічне супроводження [11, 12, 13] не вирішують проблеми пов'язаної з відсутністю в складі системи відповідних взірцевих засобів. Пропозиції включення в склад системи відповідних взірцевих засобів, що забезпечують автоматичну повірку [14, 15], зважаючи на складність таких засобів та невирішеність питання їх власного метрологічного обслуговування, можуть вирішити лише проблему повірки АЦП в складі системи. Тому впровадження таких методів лише частково вирішує деякі з вказаних протиріч і в той самий час вимагає значно точніших взірцевих засобів для повірки вже самих вбудованих взірцевих засобів.

Пропонується включити в склад АЦП підсистему його повірки (самоповірки), що забезпечить бездемонтажну періодичну повірку АЦП в процесі його експлуатації та буде мати спрощене власне метрологічне обслуговування. Метою даної статті є розробка та дослідження принципів реалізації такої підсистеми самоповірки прецизійних АЦП та оцінка похибки повірки. Очевидно, що ці принципи не повинні суперечити вимогам чинних нормативних документів до повірки АЦП.

Похибка вимірювального перетворювача на базі багаторезисторного подільника напруги

Нехай подільник напруги, що складається з N резисторів R_1, \dots, R_N , підключено до джерела напруги калібрування АЦП U_{REF} (див. рис. 1). В такому випадку, згідно II закону Кірхгофа, можна записати

$$U_{REF} = \sum_{i=1}^N U_{Ri}, \quad (1)$$

де $U_{Ri}, i = \overline{1, N}$ – спади напруги на відповідних резисторах подільника.

Математичне сподівання спадів напруги на всіх резисторах – \bar{U} визначається як

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_{Ri}. \quad (2)$$

Підставивши (1) в (2), отримаємо

$$\bar{U} = U_{REF} / N. \quad (3)$$

Це означає, що математичне сподівання спадів напруги на всіх резисторах подільника \bar{U} не залежить від спадів напруги на окремих резисторах подільника, тобто, з врахуванням закону Ома, опори окремих резисторів подільника не впливають на \bar{U} . Через те, що N – натуральне число, відносна похибка

$d_{\bar{U}}$ значення \bar{U} буде

$$d_{\bar{U}} = d_{REF}, \tag{4}$$

де d_{REF} – похибка джерела напруги живлення подільника, в нашому випадку напруги калібрування АЦП.

Таким чином, багаторезисторний подільник напруги є ідеальним, з метрологічної точки зору, вимірювальним перетворювачем – похибка, яку він додає до тракту проходження сигналу, рівна нулю, а його схема не вимагає використання прецизійних компонентів. Крім того, якщо значення опору резисторів подільника не впливають на математичне сподівання спадів напруги на всіх його резисторах, то і сам подільник не вимагає метрологічного обслуговування. Саме цю властивість багаторезисторного подільника напруги пропонується використати для визначення інтегральної нелінійності АЦП, що, разом з операціями встановлення нуля та калібрування, може бути основою для побудови підсистеми самоперевірки АЦП. Адже вимоги [4 – 6] фактично зводяться до вказаних операцій.

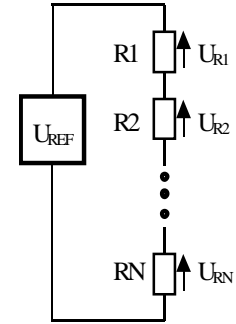


Рис. 1. Схема подільника напруги

Визначення інтегральної нелінійності АЦП

В результаті аналого-цифрового перетворення вхідної напруги U отримуємо код результату перетворення C

$$C = C_0 + \frac{C_{REF} - C_0}{U_{REF}} U + f(U), \tag{5}$$

де C_0 – результат аналого-цифрового перетворення для каналу встановлення нуля; C_{REF} – результат аналого-цифрового перетворення для каналу калібрування (коли на вхід АЦП подається напруга калібрування U_{REF}); $f(U)$ – нелінійна складова функції перетворення АЦП.

При аналого-цифровому перетворенні спадів напруги на резисторах подільника R_1, \dots, R_N , представленого на рис. 1, отримаємо

$$C_{Ri} = C_0 + \frac{C_{REF} - C_0}{U_{REF}} U_{Ri} + f(U_{Ri}), \quad i = \overline{1, N}, \tag{6}$$

де C_{Ri} – результат аналого-цифрового перетворення, що відповідає напрузі U_{Ri} .

При аналого-цифровому перетворенні напруги живлення подільника (для цього доцільно використати напругу калібрування U_{REF}) отримаємо

$$C_{REF} = C_0 + \frac{C_{REF} - C_0}{U_{REF}} U_{REF} + f(U_{REF}), \tag{7}$$

де C_{REF} – результат аналого-цифрового перетворення, що відповідає напрузі калібрування U_{REF} ; $f(U_{REF})$ – нелінійна складова функції перетворення АЦП, яка для напруги калібрування приймається рівною нулю, тобто $f(U_{REF}) = 0$.

Враховуючи (6), (7) та (2), залежність (3) можна записати як

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_{Ri} - C_0 - f(U_{Ri})}{C_{REF} - C_0} U_{REF} = \frac{1}{N} \frac{C_{REF} - C_0 - f(U_{REF})}{C_{REF} - C_0} U_{REF}. \tag{8}$$

Спростивши (8) та враховуючи, що $f(U_{REF}) = 0$, отримаємо

$$\sum_{i=1}^N (C_{Ri} - C_0 - f(U_{Ri})) = C_{REF} - C_0. \tag{9}$$

Математичне сподівання значень функції нелінійності в точках перевірки $\overline{f(U_{Ri})}$ можна обчислити як

$$\overline{f(U_{Ri})} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(U_{Ri}). \tag{10}$$

Якщо (10) підставити в (9) і знайти звідти $\overline{f(U_{Ri})}$, то отримаємо

$$\overline{f(U_{Ri})} = \frac{1}{N} \left(C_{REF} - C_0 - f(U_{REF}) - \sum_{i=1}^N (C_{Ri} - C_0) \right) = \frac{1}{N} \left(C_{REF} - C_0 - \sum_{i=1}^N (C_{Ri} - C_0) \right). \tag{11}$$

Математичне сподівання $\overline{f(U_{Ri})}$ є визначеним значенням інтегральної нелінійності АЦП, що повіряють, в точці повірки $\overline{U} = U_{REF}/N$.

Аналіз інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП

Для будь яких значень опорів резисторів R_i подільника напруги, що складається з N резисторів існує середнє арифметичне значення опору \overline{R} , яке розраховується як

$$\overline{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i.$$

Опір кожного резистора R_i подільника можна представити як

$$R_i = \overline{R} + \Delta_i, \quad (12)$$

де Δ_i – індивідуальне відхилення опору резистора R_i від \overline{R} .

В такому випадку суму індивідуальних відхилень опорів можна розрахувати як

$$\sum_{i=1}^N \Delta_i = \sum_{i=1}^N (R_i - \overline{R}) = \sum_{i=1}^N R_i - N\overline{R} = N\overline{R} - N\overline{R} \equiv 0. \quad (13)$$

Тобто сума відхилень опорів резисторів R_i від середнього значення \overline{R} завжди рівна нулю.

Виходячи з того, що, в загальному випадку, $\overline{f(U_{Ri})} \neq f(\overline{U_{Ri}})$, виникає інструментальна похибка Δ_I , зумовлена нелінійністю функції перетворення АЦП, що повіряють, яка рівна

$$\Delta_I = \overline{f(U_{Ri})} - f(\overline{U_{Ri}}), \quad (14)$$

де U_{Ri} – випадкова величина з законом розподілу, аналогічним до закону розподілу індивідуальних відхилень d_i .

Максимальне значення цієї інструментальної похибки буде досягатися у випадку, коли функція нелінійності $f(U_{Ri})$ має локальний екстремум в околі точки $\overline{U_{Ri}}$, і цей екстремум попадає в діапазон зміни спадів напруги U_{Ri} . Власне така ситуація в збільшеному вигляді і представлена на рис. 2. Значення інструментальної похибки, взявши за основу точку U_{RMIN} , можна оцінити як

$$|\Delta_I| \leq |\Delta_{IMAX}| = \left| f(\overline{U_{Ri}}) - \frac{1}{2} (f(U_{RMIN}) + f(U_{RMAX})) \right|, \quad (15)$$

де Δ_{IMAX} – максимальне допустиме значення інструментальної похибки, зумовленої нелінійністю АЦП, яка досягається для максимального відхилення спадів напруги на резисторах подільника від середнього значення, тобто для: U_{RMIN} – напруга на резисторі з мінімальним опором, U_{RMAX} – напруга на резисторі з максимальним опором.

Значення $f(\overline{U_{Ri}})$ можна оцінити як

$$f(\overline{U_{Ri}}) \leq f(U_{RMIN}) + f'(U_{RMIN}) \cdot (\overline{U} - U_{RMIN}), \quad (16)$$

де $f'(U_{RMIN})$ – похідна функції нелінійності АЦП в точці U_{RMIN} .

Аналогічно можна записати

$$f(U_{RMAX}) \leq f(U_{RMIN}) + f'(\overline{U}) \cdot (U_{RMAX} - U_{RMIN}), \quad (17)$$

де $f'(\overline{U})$ – похідна функції нелінійності АЦП в точці \overline{U} .

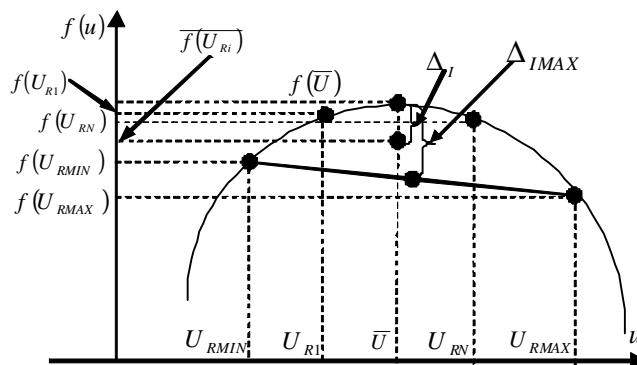


Рис. 2. Виникнення інструментальної похибки при визначенні інтегральної нелінійності АЦП

Крім того, з рис. 2 видно, що

$$|\bar{U} - U_{RMIN}| \leq |U_{RMAX} - \bar{U}| \leq \frac{|\Delta_{MAX}|}{R} \cdot \frac{U_{REF}}{N}, \quad (18)$$

де Δ_{MAX} – допустиме відхилення опору резисторів від номінального.

Враховуючи (16), (17) та (18), а також те, що за основу взята точка U_{RMIN} , вираз (15) можна записати

$$|\Delta_I(\bar{U})| \leq \frac{\Delta_{MAX}}{R} \cdot \frac{U_{REF}}{N} \cdot |f'(U_{RMIN}) - f'(\bar{U})|. \quad (19)$$

Слід відзначити, що вираз $\frac{\Delta_{MAX}}{R} \cdot \frac{U_{REF}}{N}$, який входить в (19), представляє собою максимальне абсолютне відхилення спаду напруги на окремих резисторах подільника. Це відхилення визначається максимальним відносним відхиленням опору резисторів подільника від їх середнього значення.

Якщо резистори подільника R_1, \dots, R_N мають однакові номінальні значення опору з допустимим відхиленням d_R , то $\frac{\Delta_{MAX}}{R} \leq d_R$. Таким чином, (19) можна записати як

$$|\Delta_I(\bar{U})| \leq d_R \cdot \frac{U_{REF}}{N} \cdot |f'(U_{RMIN}) - f'(\bar{U})|. \quad (20)$$

Оцінка інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП

Вираз (20) може служити основою для оцінки інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП. Однак вираз (20) містить різницю похідних функції нелінійності. Сама функція нелінійності АЦП, зазвичай, нормується тільки максимальнo допустимим значенням, що не дозволяє зробити висновок про характер як самої функції нелінійності, так про характер похідної. Тому оцінка інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП з допомогою багаторезистивного подільника вимагає дослідження характеру функції нелінійності, притаманної конкретному виду АЦП. Оцінку межі інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП можна зробити виходячи з наступних припущень:

1. Досліджуваний АЦП за параметрами аналогічний АЦП типу AD7714 [16], який має:
 - діапазон перетворення 2,5 В;
 - розрядність – 24 двійкові розряди;
 - максимальне допустиме значення нелінійності 0,0015 %, що відповідає нелінійності 250 квантів.
2. Функція нелінійності АЦП носить квадратичний характер [17].
3. Оцінку інструментальної похибки визначення інтегральної нелінійності АЦП ведемо для точок повірки 1,25 В і 0,625 В, що відповідає половині та чвертї діапазону перетворення АЦП.
4. Максимальне відносне відхиленням опору резисторів подільника від номінального значення не більше 1 %.

Функцію нелінійності такого АЦП $f(u)$ від вхідної напруги u можна описати залежністю $f(u) = 400u - 160u^2$, а її похідну – залежністю $f'(u) = 400 - 320u$. Підставивши відповідні значення u (20) отримаємо оцінку значення інструментальної похибки в квантах: $|\Delta_I(50\%)| \leq 0,05$, і $|\Delta_I(25\%)| \leq 0,0125$, тобто. Таким чином, запропонований підхід до визначення інтегральної нелінійності АЦП забезпечує інструментальну похибку, що задовольняє вимоги АЦП найвищої точності.

Використання результатів визначення інтегральної нелінійності АЦП для її корекції та повірки АЦП

Результати визначення інтегральної нелінійності АЦП можуть бути базою як для корекції його похибок, так і методів самоповірки. Слід відзначити, що невиключена похибка визначення нелінійності АЦП відповідає похибці самоповірки та пов'язана з її метрологічною надійністю – якщо на деякому відрізку діапазону похибка визначення нелінійності АЦП зростає, то можна припустити, що зростає і невизначеність результату самоповірки на цьому відрізку. Тому розміщення точок повірки АЦП має значення. Похибку від невиключеної нелінійності $g(x)$ можна визначити як

$$g(x) = f(x) - h(x), \quad (21)$$

де $f(x)$ – дійсна нелінійність функції перетворення АЦП; $h(x)$ – функція нелінійності АЦП, апроксимована за значеннями $f(x)$, отриманими в деякій множині з n точок визначення нелінійності X_i^{TBH} , $i = \bar{1}, n$, кожна з яких отримана при повірці з використанням багаторезистивного подільника.

Згідно (4) $f(X_i^{TBH}) \rightarrow h(X_i^{TBH})$, $i = \overline{1, n}$, отже $g(X_i^{TBH}) \rightarrow 0$, $i = \overline{1, n}$. Тоді, для відрізка між точками визначення нелінійності $[X_i^{TBH}, X_{i+1}^{TBH}]$, $i = \overline{1, n-1}$ можна оцінити як

$$\begin{cases} |g(x)| \geq g(X_i^{TBH}) \\ |g(x)| \geq g(X_{i+1}^{TBH}) \end{cases} x \in (X_i^{TBH}, X_{i+1}^{TBH}), \quad i = \overline{1, n-1}, \quad (22)$$

тобто, функція $g(x)$ має локальний екстремум $g_{MAX}(x)$ на кожному з відрізків між точками визначення нелінійності АЦП. Його максимальне значення можна оцінити

$$g_{MAX}(x) \leq g'_{MAX}(x) \cdot (X_{i+1}^{TBH} - X_i^{TBH}), \quad i = \overline{1, n-1}, \quad (22)$$

де $g'_{MAX}(x)$ – максимальне значення похідної від функції $g(x)$ у діапазоні $[X_i^{TBH}, X_{i+1}^{TBH}]$, $i = \overline{1, n-1}$.

Крім того, згідно з апроксимаційною теоремою Вєрштраса, збільшення кількості точок визначення нелінійності веде до підвищення точності апроксимації на кожному відрізку, що веде також до зменшення $g'_{MAX}(x)$, яка в граничному випадку рівна нулю. Тому збільшення кількості точок визначення нелінійності веде не тільки до зменшення довжин відрізків апроксимації, а і до зменшення $g'_{MAX}(x)$ для кожного відрізка, тобто, згідно (22), до зменшення невиключеної нелінійності $g(x)$.

Методологія побудови багаторезисторних подільників напруги для повірки АЦП

Як видно із викладеного, багаторезисторний подільник напруги забезпечує визначення інтегральної нелінійності АЦП з високою точністю без використання прецизійних елементів. На його основі запропоновано “базовий” метод визначення інтегральної нелінійності АЦП. Його суть полягає у збільшенні кількості точок визначення нелінійності шляхом перетворення m спадів напруги на k послідовно з’єднаних резисторах багаторезисторного подільника напруги, що складається з $N = m \times k$ резисторів. N вибирають так, щоби мати деяку множину натуральних чисел $\{m_1, \mathbf{K}, m_t\}$ – дільників N , тоді існує множина натуральних чисел $\{k_1, \mathbf{K}, k_t\}$, що задовольняють умову $N = m_i \times k_i$; $i = \overline{1, t}$. Це дозволяє одним подільником отримати t точок визначення інтегральної нелінійності АЦП

$$\bar{U}_i = \frac{U_{REF}}{N} m_i; \quad i = \overline{1, t}. \quad (23)$$

Отже, вибираючи відповідну кількість резисторів подільника можна збільшити кількість точок визначення інтегральної нелінійності АЦП. Недоліком “базового” методу є те, що всі значення точок визначення інтегральної нелінійності АЦП будуть розміщені нерівномірно – в нижній половині діапазону перетворення АЦП. Таким чином “базовий” метод не забезпечує виконання викладених вище вимог нормативних документів [4...8] до повірки АЦП, а саме щодо розміщення точок повірки по діапазону перетворення АЦП. Для усунення цього недоліку пропонується наступна методологія:

1. виділення ділянок діапазону перетворення АЦП з малою похибкою самоповірки та їх використання для прецизійного вимірювання напруги на деяких резисторах та їх комбінаціях з наступним розрахунком значень напруги на інших комбінаціях, що попадають в ділянки діапазону з великою похибкою;

2. використання “базового” методу на двох діапазонах АЦП, вибраних так, щоби деякі точки верхнього діапазону були розміщені у верхній половині нижнього;

3. багатократне використання “базового” методу на різних діапазонах таким чином, щоби на потрібному забезпечити розподіл точок визначення нелінійності згідно діючих вимог, до повірки АЦП;

4. напруга джерела калібрування може істотно відрізнитися від діапазону АЦП, а для його калібрування використовується одна з точок визначення нелінійності “базовим” методом;

5. порядок ввімкнення резисторів подільника можна змінювати в процесі повірки.

Використання запропонованих підходів та їх комбінацій дозволило синтезувати шість нових методів формування точок визначення інтегральної нелінійності АЦП [19...23], що, разом з процедурами встановлення нуля та калібрування, забезпечують повірку АЦП з неперервною функцією систематичної складової похибки перетворення згідно діючих стандартів.

Висновки

Похибка вихідного сигналу вимірювального перетворювача на базі багаторезисторного подільника напруги при усередненні спадів напруги на всіх його резисторах рівна нулю і не залежить від значень опорів самих резисторів, тобто такий подільник є ідеальним вимірювальним перетворювачем, а його схема не вимагає прецизійних компонентів. Ця властивість робить такий вимірювальний перетворювач перспективним для побудови підсистеми повірки прецизійних АЦП, оскільки з його допомогою можна формувати довільну кількість точок повірки з використанням однозначної міри напруги, а похибка цих точок рівна похибці міри напруги. Це забезпечує визначення інтегральної нелінійності АЦП в точках

повірки, що разом з результатами встановлення нуля та калібрування, повністю характеризує похибку перетворення АЦП під час повірки.

Запропонована методологія побудови багаторезисторних подільників напруги для повірки АЦП дає можливість на основі “базового” методу визначення нелінійності АЦП забезпечити більш рівномірне розміщення точок визначення нелінійності АЦП (точок повірки) відповідно до вимог діючих нормативних документів, що дозволяє зменшити похибку самоповірки.

Реалізація запропонованих методів самоповірки АЦП дозволить забезпечити єдність вимірювання та підвищити метрологічну надійність результатів аналого-цифрового перетворення у інформаційно-вимірювальних системах.

Література

1. Бабак В.П. Обробка сигналів: Підручник / В.П. Бабак, В.С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К.: Либідь, 1996. – 392с.
2. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність. [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/113/98-вр>.
3. ДСТУ 2709: 2006 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.
4. ДСТУ 3744-98 – Перетворювачі вимірювальні напруги та струму цифрові. Загальні технічні умови.
5. ГОСТ 14014-91 Приборы и преобразователи измерительные цифровые напряжения, тока, сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний.
6. ГОСТ 30605-98 Преобразователи измерительные напряжения и тока цифровые. Общие технические условия.
7. МИ 118-78. Методика поверки цифровых вольтметров и аналого-цифровых преобразователей.
8. МИ 1202-86. ГСИ. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие требования к методике поверки.
9. Fluke Corporation 5720A (Multifunction Calibrator). [Електронний ресурс] – Режим доступу [http://www.telogyk.com/display_model.aspx?bm-FLU\(5720A\)](http://www.telogyk.com/display_model.aspx?bm-FLU(5720A)).
10. Яцук В. Інформаційно-енергетичний підхід до оцінювання коефіцієнта якості засобів вимірювальної техніки / В. Яцук // Вимірювальна техніка та метрологія. Випуск 68, 2008. с. 224-228.
11. Кондрашов С.І. Підвищення точності вимірювальних перетворювачів з формуванням у реальних умовах тестових впливів: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.11.05 /НТУ“ХПІ”. – Харків, 2004. – 38 с.
12. Балев В.М. Методи та засоби контролю похибок вимірювальних каналів автоматизованих систем контролю та керування: Автореф. дис. к-та техн. наук: 05.11.05 /НТУ“ХПІ”. – Харків, 1999. – 23 с.
13. Соболев В.С. Метрологическое сопровождение результатов измерений в интеллектуальных измерительных системах: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.11.16 /СПГЭТУ (ЛЭТИ). – С. – П., 1999. – 36 с.
14. М. Микитин Метрологічна перевірка інтелектуального термометра / Микитин М., Стадник Б. Тези доповідей ІХ міжнародної науково-технічної конференції “Методи і засоби вимірювань фізичних величин” – “Температура– 2012”, Львів, 25– 28 вересня, 2012, ст. 121– 122.
15. Микийчук М.М. Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ, 2009, № 23. [Електронний ресурс] – Режим доступу http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/metody/2009_23/09mmmpz.pdf.
16. AD7714: CMOS, 3V/5V, 500 μ A, 24-BIT Sigma-Delta, Signal Conditioning ADC. [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7714/products/product.html>.
17. Махнанов В.Д. Устройства частотного и время-импульсного преобразования / В.Д. Махнанов, Н.Т. Милохин. – М: Энергия, 1970. – 128 с.
18. Р.В. Кочан Метод метрологічної перевірки (повірки) аналого-цифрових перетворювачів однозначною мірою / Кочан Р.В // Український метрологічний журнал. – Харків, 2011, № 1, ст. 51 – 56.
19. Кочан Р.В. Метод метрологічної перевірки (повірки) аналого-цифрових перетворювачів однозначною мірою / Р.В. Кочан // Збірник праць VII міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія 2010)”, Харків, 12-14 жовтня 2010, т. 2, ст. 303-306.
20. Р.В. Кочан Визначення інтегральної нелінійності аналого-цифрових перетворювачів / Кочан Р.В // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2007, № .2 Т.2, с. 159-162.
21. Кочан Р.В. Спосіб визначення інтегральної нелінійності характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів / Р.В. Кочан, О.В. Кочан // Вимірювальна техніка та метрологія. – Львів, № 68, 2008, с. 55-59.
22. Кочан Р.В. Лінеаризація характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів з високою роздільною здатністю / Р.В. Кочан // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Вінниця. 2009. № 2, сс. 7-12.
23. Кочан Р.В., Кочан О.В. Пристрій визначення інтегральної нелінійності характеристики перетворення аналого-цифрових перетворювачів. Пат. 200703921 Україна, МПК 7H01H51/00. Заявл. 10.04.2007, опубл. 27.02.2012 бюл. № 4.

Надійшла 15.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Дунець Р.Б.

СУЧАСНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ ТА АНАЛІЗАТОРОМ СПЕКТРУ

У статті розглянуто особливості побудови підсилювачів звукової частоти *HI-FI* класу та показано доцільність розробки саме підсилювача потужності. Розроблено структурну схему пристрою, обрано сучасну елементну базу, яка дозволяє виготовити високоякісний та одночасно простий і не коштовний підсилювач. Розглянуто переваги використання в електронному керуванні мікроконтролерів сімейства *AVR* фірми *ATMEL* та робочі параметри розробленого підсилювача потужності.

Ключові слова: сучасний підсилювач потужності; сигнал; мікроконтролер; звуковий процесор.

The article deals with features of audio frequency amplifier HI-FI class and shown the feasibility of development with the power amplifier. The block diagram of the device selected modern element base, which allows us to produce high quality and at the same time simple and not expensive amplifier. The advantages of using electronic control Microcontrollers ATMEL AVR family firms and operating parameters of the developed power amplifier.

Keywords: modern power amplifier, signal, microcontroller, sound processor.

Вступ

Комплекси високоякісного звуковідтворення підсилювачів потужності виконуються окремим функціональним блоком. В їх будові відсутні елементи корекції амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) і при цьому забезпечується її плоскість у широкому діапазоні частот. Підсилювачі потужності не забезпечують регулювання, а встановлюється лише індикатор рівня вихідної потужності, всі регулювання параметрів здійснюються в основному на мікшерних пультах, тому це спрощує будову підсилювачів.

Отже максимальна потужність підсилювача, визначається максимальними значеннями напруги, яка діє на виході підсилювача і струму, що протікає через підсилювач при заданому навантаженні. Тому для підсилювачів потужності характерним є застосування у кінцевому каскаді високовольтних транзисторів підвищеної потужності, що споживають від джерела живлення значну енергію [1]. У свою чергу, використання вихідних транзисторів на максимальній потужності викликають зростання нелінійних спотворень у вихідному каскаді підсилювача.

Один з шляхів зниження рівня нелінійних спотворень можливий введенням глибокого негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) у кінцевий каскад підсилювача, однак при цьому зростає час запізнення сигналу на виході й у колі НЗЗ, що призводить до утворення динамічних спотворень. Для зменшення динамічних спотворень у високоякісних підсилювачах глибина НЗЗ обмежується у межах 20...30 дБ. У кінцевому каскаді підсилювача застосовують потужні високочастотні біполярні чи польові транзистори, які дозволяють розширити частотний діапазон підсилення і тим самим підвищити його швидкодію. З метою зниження нелінійних спотворень підсилювачів малої потужності вихідний каскад працює в режимі класу А, проте це ускладнює термостабілізацію великого струму спокою транзисторів вихідного каскаду і знижує коефіцієнт корисної дії підсилювача. Тому на сьогодні найчастіше застосовують безтрансформаторні вихідні каскади, що реалізують на 3-х, 4-х елементних складених транзисторах. Крім того у цих каскадах передбачається система захисту при перевантаженні сигналом великого рівня і при короткому замиканні на виході. Отже такі підсилювачі мають високу якість звучання, проте це впливає на збільшення вартості.

Застосування сучасної радіоелементної бази дозволяє перейти на якісно інший рівень при конструюванні апаратури високоякісного звуковідтворення, одночасно знизити собівартість підсилювачів, підвищити їх ремонтпридатність, знизити масо-габаритні показники тощо.

Постановка завдання

Метою розробки є якісний сучасний підсилювач потужності, вартість якого значно менша від аналогів, разом з тим, він не поступається за функціональністю та надійністю.

За своїм виконанням підсилювачі потужності прості у технологічному виконанні проте вони дороговартісні функціональні вузли, так як вони мають працювати на значну потужність.

У схемотехніці високоякісних підсилювачів звукової частоти останнім часом вважається, що такий підсилювач має містити вхідний диференціальний каскад та ланку з резистивним навантаженням, яка підсилить сигнал до визначеного рівня для забезпечення якісної роботи вихідного каскаду підсилювача. Передкінцевий фазоінверсний каскад і двотактний кінцевий каскад виконаний з послідовним живленням транзисторів [1].

Для зниження спотворень струм спокою транзисторів кінцевого каскаду обирають достатньо великим – 250...300 мА. При цьому на кожному із транзисторів розсіюється значна потужність (десятки Вт), що вимагає застосування ефективних тепловідводів і забезпечення спеціальних заходів для стабілізації теплового режиму при зміні температури навколишнього середовища, що значно збільшує схеми таких підсилювачів, та є їх недоліком.

Останнім часом широко використовуються конструкції попередніх підсилювачів на спеціалізованих мікросхемах (аудіо-процесорах) [2]. Ці мікросхеми забезпечують можливість одночасного здійснення комутації декількох аудіо-джерел та регулювання гучності і тембру. Проектування таких пристроїв

представляє інтерес з точки зору використання мікроконтролерів, оскільки аудіо-процесори в переважній більшості вимагають для доступу до функцій регулювання і комутації зв'язку керування від мікроконтролера, який, окрім цього, дозволяє забезпечити управління цим пристроєм і наочну індикацію режимів його роботи на LCD індикаторі.

Результати дослідження

Розроблений підсилювач потужності (рис. 1) складається з двох блоків живлення, блоку селектора каналів, блоку електронного керування, блоку CD привода, блоку аналізатора спектра, блоку звукового процесора та блоку вихідного каскаду.

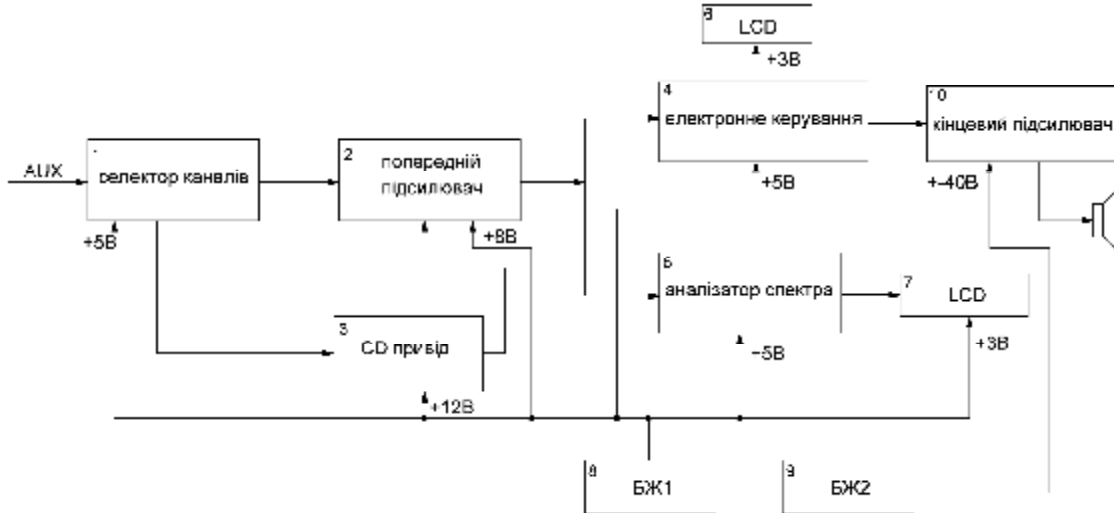


Рис. 1. Структурна схема підсилювача

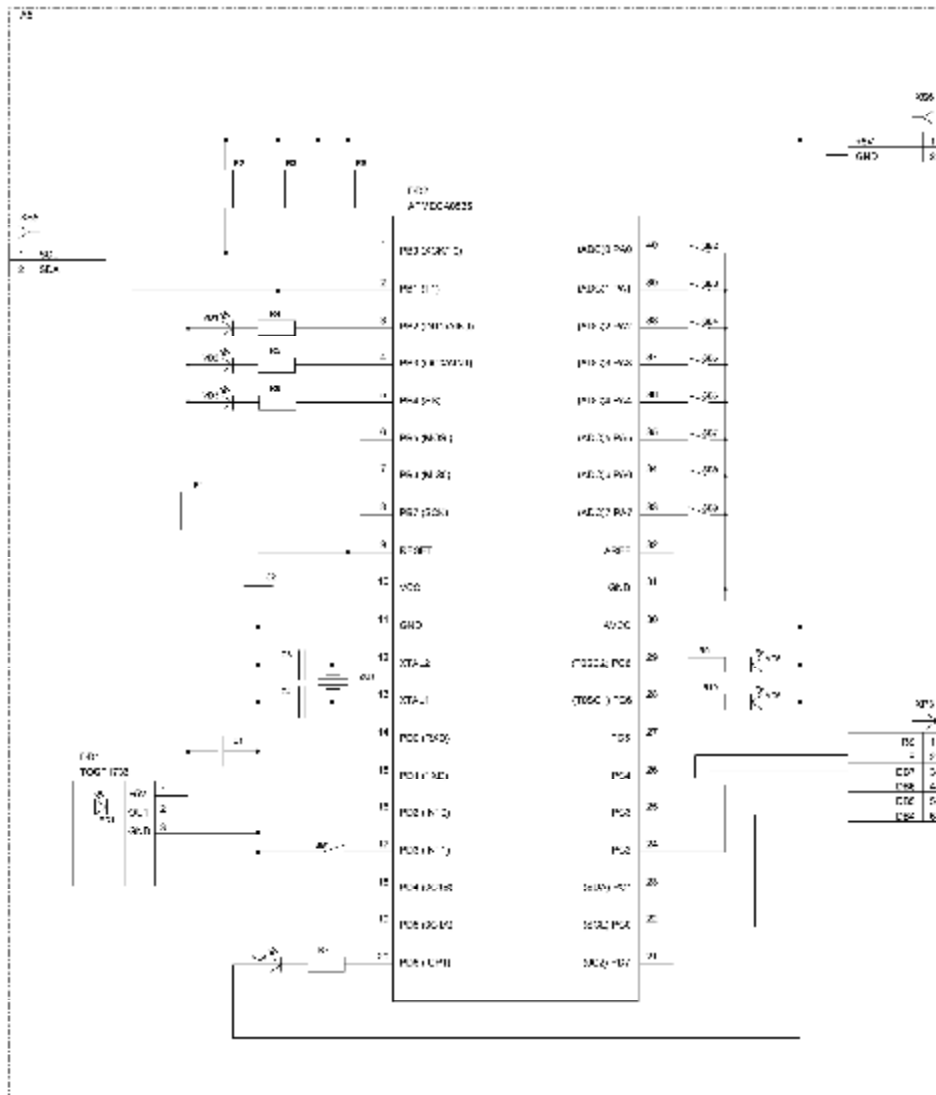


Рис. 2. Електрична схема електронного керування підсилювачем

Вхідні сигнали поступають на селектор каналів (1), де відбувається вибір необхідного каналу. Одночасно може поступати три вхідних сигнали, два з роз'єма AUX і один з CD привода. Далі сигнал вибраного каналу поступає на попередній підсилювач (звуковий процесор) (3), де відбувається обробка цього сигналу, (зміна гучності, тембру, балансу, НЧ, ВЧ). Оброблений сигнал поступає одночасно на електронне керування (4) де на LCD (6) відображаються параметри які змінюються, та на аналізатор спектру (5), який також має LCD (7), на якому відображається гармонічний рівень сигналу. Далі сигнал поступає на кінцевий каскад, в якому відбувається необхідне його підсилення. З вихідного каскаду сигнал відтворюється на динамічних головках. Живлення вихідного каскаду відбувається окремим лінійним блоком живлення (9), оскільки для цього каскаду необхідна велика потужність. Живлення решти вузлів схеми відбувається за допомогою імпульсного блоку живлення (8).

Електронне керування сучасного підсилювача потужності виконане на мікроконтролері ATMEGA8535 [3] (рис. 2). На LCD (6) індикаторі відображається інформація про поточний стан роботи підсилювача (значення гучності, тембру ВЧ, НЧ і балансу).

Звуковий процесор (рис. 3) сучасного підсилювача потужності виконаний на мікросхемі TDA 7313 [2], яка має три входи та чотири виходи (два фронтальних та два тилових). Перевагою цієї схеми є можливість управління підсилювачем потужності за допомогою дистанційного керування оскільки вона за допомогою шини I2C підключається до схеми електронного керування.

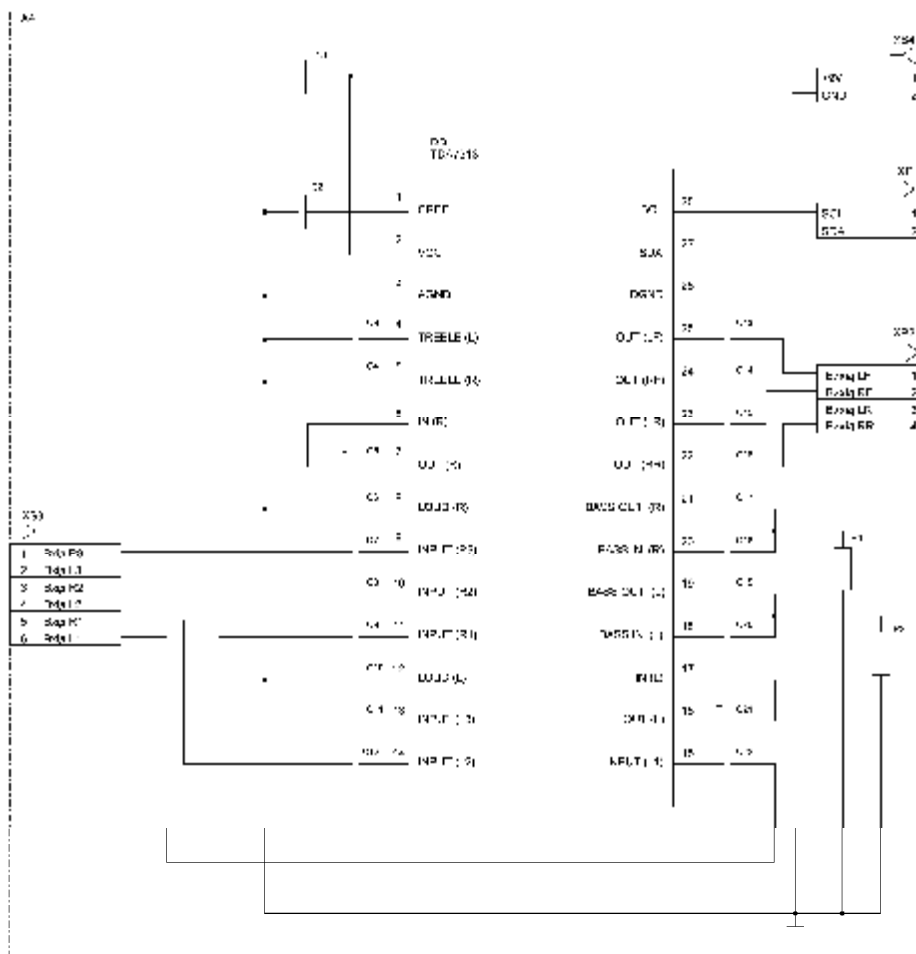


Рис. 3. Електрична схема звукового процесора підсилювача

Аналізатор спектру сучасного підсилювача потужності виконаний на мікроконтролері ATMEGA8 [3] та операційному підсилювачі LM324N [4]. Операційний підсилювач використовується, як фільтр Баттерворта другого порядку. Фільтрований сигнал поступає на мікроконтролер, який за допомогою АЦП перетворює його з аналогового в цифровий. Далі цифровий сигнал поступає на цифрові фільтри де відбувається розклад його на гармоніки. Ці гармоніки сигналу відображаються на LCD (7) дисплеї.

Вихідний каскад сучасного підсилювача потужності (рис. 5) виконаний на ІМС TDA7293, що дозволяє отримати двохканальний стереопідсилювач з вихідною потужністю 100 Вт. Особливість ІМС TDA7293 [5] полягає в польових транзисторах у вхідних та вихідних каскадах мікросхеми. Мікросхема працює в режимі класу АВ [6], що має декілька режимів: 1) «MUTING» ІМС дозволяє відключати від схеми акустичну систему, що покращує співвідношення сигнал/шум, коли на виході Mute напруга від 0 В до 2,3 В відбувається послаблення вихідного сигналу на 80 дБ, при напрузі більше 3,5 В ослаблення не відбувається, оскільки цей режим вимкнений; 2) «Stand-By» дозволяє переходу підсилювача потужності в черговий

режим, вимиканню живлення вихідних каскадів, що зручно для дистанційного керування.

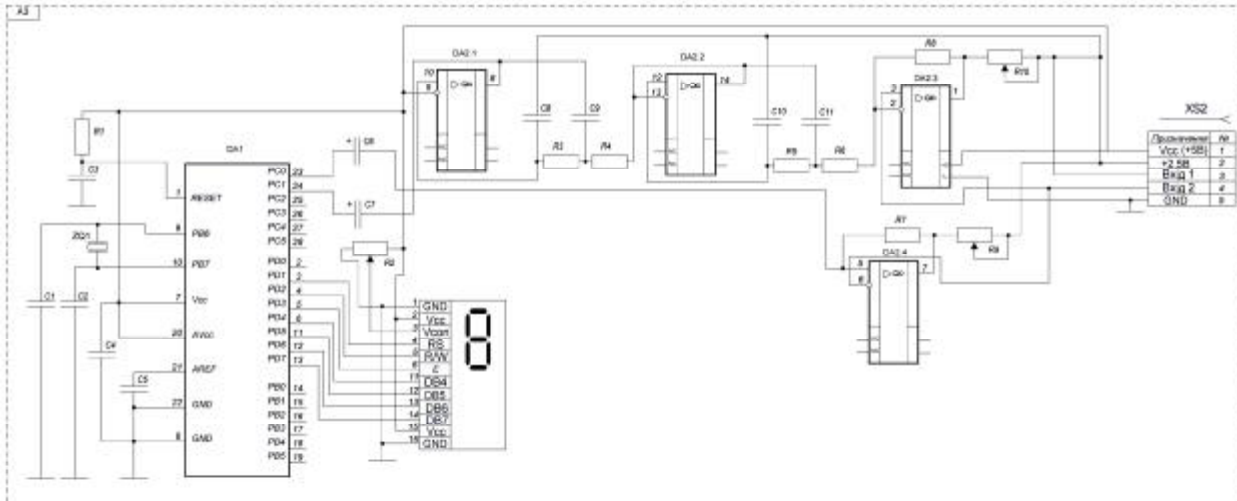


Рис. 4. Електрична схема аналізатора спектру підсилювача

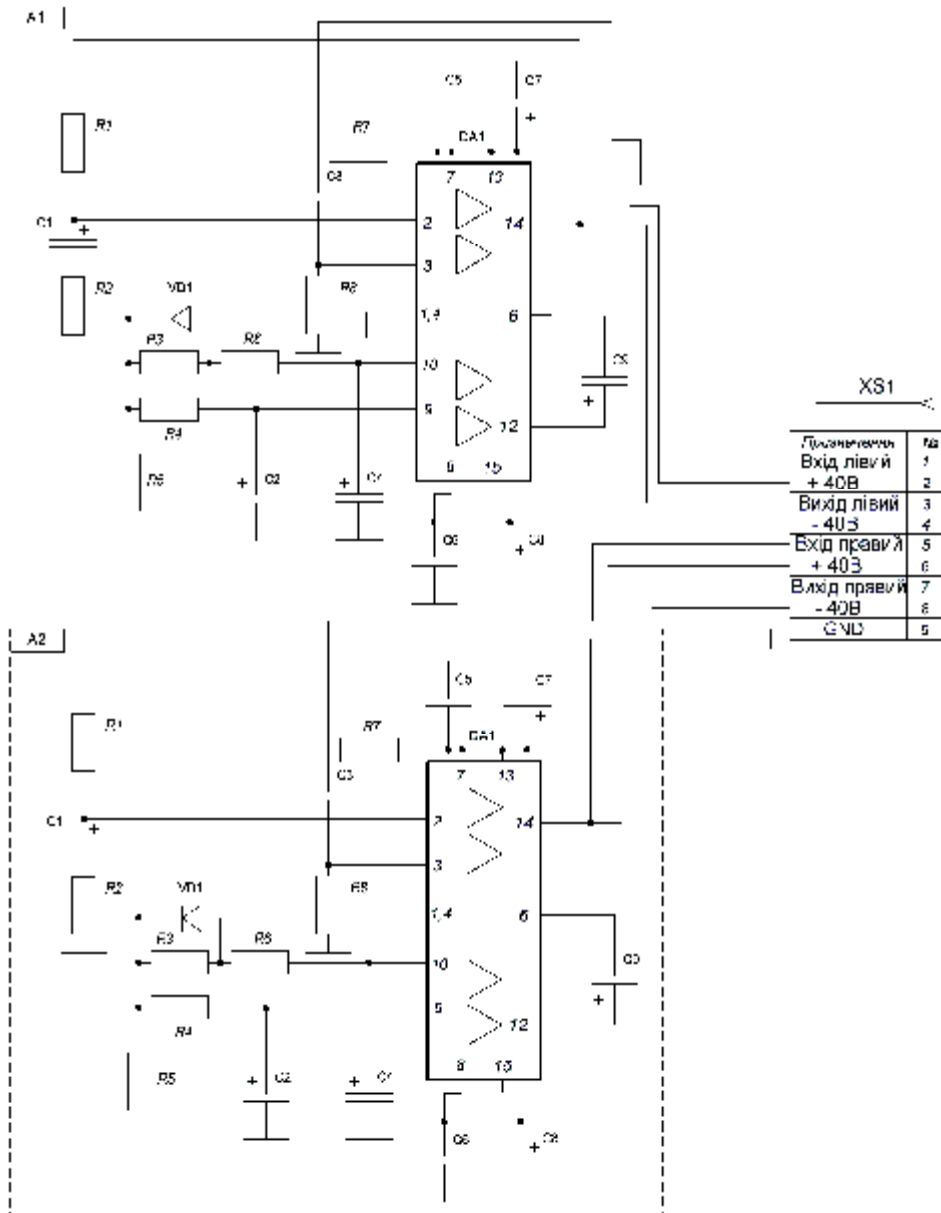


Рис. 5. Електрична схема вихідного каскаду підсилювача

У розробленому сучасному підсилювачі потужності використовується лінійний та імпульсний блок

живлення, реалізований від персонального комп'ютера, на основі ІМС VC3843, з напругами +5 В, ± 12 В та потужністю 230 Вт. Лінійний блок живлення використовується для живлення вихідного каскаду, оскільки його потужність 200 Вт.

Результати експериментальних досліджень розробленого сучасного підсилювача потужності наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальні параметри розробленого сучасного підсилювача потужності

№	Параметр	Величина
1	Номинальна потужність	2x100 Вт
2	Частотний діапазон	20 Гц – 20 000 Гц
3	Опір навантаження	4 Ом
4	Розділення між каналами	100 дБ
5	Коефіцієнт нелінійних спотворень: - при потужності 10-70 Вт - при потужності 100 Вт	не більше 0,1 % не більше 0,9 %
6	Напруга живлення	220 В
7	Номинальна вхідна напруга сигналу	600 мВ
8	Відношення сигнал/шум	не менше 60 дБ
9	Вхідний опір	50 кОм

Розроблений пристрій є функціонально закінченим приладом і рекомендується до використання разом з персональним комп'ютером, DVD програвачем, MP3 програвачем для озвучування приміщення об'ємом 100-200 м.²

Висновок

Розроблено технічне рішення побудови сучасного підсилювача потужності. З параметрами підсилювача: номінальна вхідна напруга сигналу 700 ± 50 мВ, відношення сигнал/шум не менше 60 дБ, номінальна потужність 2 канали по 100 Вт. Перевагою є запас потужності, яким володіє сучасний підсилювач потужності, дозволяє одержати великий динамічний діапазон гучності, що підвищує якість звучання, поліпшує стабільність роботи при номінальній потужності і забезпечує незначні нелінійні спотворення. Запропонований підсилювач за своїми робочими параметрами не поступається існуючим заводським аналогам, проте його собівартість в декілька разів менша від цих аналогів.

Література

1. Селф Д. Проектирование усилителей мощности звуковой частоты. Третье издание : Пер. с англ. / Д. Селф – М.: ДМК Пресс, 2009. – 536 с.
2. Предварительные усилители низкой частоты. Регуляторы громкости и тембра. Усилители индикации : Справочник / сост. : Е. Ф. Турута. – М. : Патриот, 1997. – 188 с.
3. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы / В. Н. Баранов. – М.: Издательский дом «Додека -XXI», 2004. – 288 с.
4. Фолкинбери Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС. Пер. с англ / Л. Фолкинбери. – М.: Мир, 1985. – 571с.
5. TDA 7293. [Електронний ресурс] // Datasheet; 5/1992. – Philips Semiconductors. – Режим доступу: <http://datagor.ru/blogs/puntus/86-usilitel-mf-1-na-tda729493-s-gibridnojji-oos.html> (пос.).
6. Турута Е. Ф. Микросхемы усилителей мощности низкой частоты и их аналоги. Справочное пособие / Е. Ф. Турута. – М.: ДМК Пресс, 2002 г. – 345 с.

Надійшла 13.1.2013 р.
Статтю представляє: к.т.н. Рудик В.Д.

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС З ВРАХУВАННЯМ ЧУТЛИВОСТІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ І ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РЕГУЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

Досліджено існуючі математичні методи визначення чутливості втрат потужності до зміни навантаження в вузлах. Запропоновано при оптимальному керуванні нормальними режимами (НР) електроенергетичних систем (ЕЕС) на етапі формування керуючих впливів враховувати чутливість втрат потужності в вітках до зміни навантаження в вузлах та технічний стан регулюючих пристроїв. Вдосконалено математичну модель коефіцієнту якості функціонування трансформаторів з регуляторами під навантаженням (РПН).

Ключові слова: електроенергетична система, оптимальне керування, коефіцієнт чутливості, коефіцієнт якості функціонування.

The existing mathematical methods for determining power losses sensitivity to a change in the nodes. An optimal control in normal mode (NR) electric power systems (EPS) at the stage of control actions take into account the sensitivity of the power losses in branches to a change in the condition of sites and control devices. Improved mathematical model coefficient as function transformers with regulators under load (RPN).

Keywords: electrical power system, optimal control, the rate sensitivity, quality factor functioning.

Вступ. Необхідність оперативної корекції параметрів НР виникає через відхилення умов експлуатації ЕЕС від запланованих. Головними причинами таких відхилень є неточність прогнозування навантаження споживачів, різні обмеження обладнання на зміну параметрів режиму, наприклад діапазон регулювання РПН [1]. Не завжди всі експлуатаційні обмеження враховуються при плануванні режимів. Під оптимальним керуванням нормальними режимами ЕЕС будемо розуміти вибір і реалізацію тими чи іншими способами найкращих значень залежних параметрів обладнання ЕЕС (наприклад, коефіцієнтів трансформації трансформаторів), шляхом зміни яких можна змінювати значення активних і реактивних вузлових потужностей, напруг у вузлах, струмів у вітках [2, 3].

Технічна забезпеченість ЕЕС України в більшості випадків дозволяє персоналу диспетчерської служби проводити корекцію режиму на основі аналізу даних телеметричних вимірів ОІК (оперативного інформаційного комплексу) АСДУ (автоматизованої системи диспетчерського управління). В основному це здійснюється за рахунок перерозподілу завантажень окремих електричних станцій за активною і реактивною потужностями і шляхом зміни коефіцієнтів трансформації трансформаторів і автотрансформаторів. Як критерій оптимальності, на основі значення якого приймаються рішення щодо керуючих впливів, може використовуватися мінімум втрат активної потужності.

Врахування чутливості втрат потужності до збурень дасть можливість визначити області оптимального регулювання тими регулюючими пристроями (РП), що мають найбільший вплив для введення режиму в більш економічний стан. Це дасть можливість мінімізувати витрати загального ресурсу РП при заданому відхиленні для досягнення оптимальних значень напруги у вузлах, зниження втрат та міри неоднорідності в електричній мережі. Через те, що зміна навантаження або генерування (збурення) призводить до зміни міри впливу неоднорідності мережі в ЕЕС, то постає завдання дослідження чутливості показників неоднорідності мережі до збурень. Оскільки оптимізуючі дії, направлені на компенсацію негативного впливу неоднорідності мереж ЕЕС, формуються за результатами розрахунків, зокрема розрахунків усталених режимів, то слід дослідити міру впливу розрахункових умов на прийняття оптимальних рішень. Дана задача розв'язується за допомогою математичного моделювання усталених режимів в темпі процесу з врахуванням впливових факторів (зміна коефіцієнтів трансформації, вибір балансуєчого вузла тощо).

Тому, мета статті полягає у зменшенні втрат потужності в електроенергетичних системах за рахунок вдосконалення керування параметрами нормальних режимів з врахуванням чутливості втрат потужності в вітках до зміни навантаження в вузлах та регулювальної здатності трансформаторів з РПН і їх технічного стану.

Визначення матриці коефіцієнтів чутливості втрат потужності. Електроенергетична система постійно знаходиться під дією зовнішніх і внутрішніх збурень. Збурення можуть виникати в ЕЕС в одній або декількох точках одночасно. Залежно від їх сили (значення) наслідки можуть характеризуватися кількісними змінами параметрів режиму в межах допустимих їх змін або якісними змінами режиму, наприклад втратою стійкості. За післядією це дві різні задачі і розв'язуються вони різними методами [4-6]. Розглянемо випадок, коли збурення за своїм впливом не можуть вивести режим з допустимої області або засобами автоматичного регулювання утримується в ній, але втрати потужності при цьому як в системі в цілому, так і в окремих її елементах можуть досягати критичних значень.

Складність утримання або введення режиму ЕЕС в допустиму область полягає в тому, що реакція параметрів режиму у різних її вузлах і вітках на збурення суттєво відрізняється. Відповідно вимагається різна дія окремих РП (джерел активної і реактивної потужності, трансформаторів з поздовжньо-поперечним

регулюванням, лінійних регуляторів тощо) на параметри режиму елементів і підсистем ЕЕС. Дія РП носить системний характер і тому необхідно розглядати зміну їх параметрів як вплив не тільки на окремі параметри режиму, а й на загальносистемні характеристики, такі як сумарні втрати активної потужності в електричних мережах ЕЕС, втрати від транзитних перетоків потужності, розподіл навантаження між джерелами потужності, міжсистемні перетоки потужності. Останнє по суті стосується задачі оптимального керування нормальними режимами ЕЕС [7, 8], а тому в рамках цієї задачі і доцільно визначати дію РП як реакцію на збурення в системі.

Тут розглядається метод оцінки чутливості сумарних втрат потужності в неоднорідних ЕЕС як критерію оптимальності її режимів та втрат потужності в окремих вітках електричних мереж до зміни навантаження у вузлах. За ідеєю запропонований тут підхід схожий з методом використання відносних приростів технологічних втрат електроенергії (ТВЕ) на шляху в електричній мережі від джерела електроенергії до споживача [9, 10].

Якщо допустити, що коефіцієнти розподілу втрат потужності у вітках є незмінними, то при зміні потужності у вузлах втрати потужності в i -й вітці також зміняться і будуть рівні:

$$\delta S_i = T_i \delta S_i, \quad (1)$$

де T_i – матриця чутливості, яка встановлює зв'язок між приростами втрат потужності у i -тій вітці ЕЕС і змінами потужності у вузлах $\delta S_i = S^k - S^{k+1}$ – матриця змін повної потужності у вузлах ЕЕС при переході з k -го режиму до $k+1$ -го.

Якщо зміни відбулися тільки в одному вузлі – g -му, то приріст втрат потужності в i -й вітці від зміни потужності в g -му вузлі на δS_g буде складати

$$\delta S_i = t_{ig} \delta S_g. \quad (2)$$

З (2)

$$t_{ig} = \frac{\delta S_i}{\delta S_g}. \quad (3)$$

З (3) у відповідності до [11] слідує, що t_{ig} є коефіцієнтом чутливості втрат потужності в i -й вітці до зміни потужності в g -му вузлі. Оскільки матриця T складається з елементів виду t_{ig} , то вона є матрицею чутливості, яка встановлює зв'язок між приростами втрат потужності у вітках ЕЕС і змінами потужності у вузлах.

На практиці в ЕЕС виникають задачі, коли у вузлах змінюються тільки активна або реактивна потужності. Якщо у вузлі змінюється тільки активна потужність ($\delta Q_g = 0$, $\delta P_g \neq 0$), то з (3) слідує, що

$$t_{ig} = \frac{\delta P_g}{\delta P_g} + j \frac{\delta Q_g}{\delta Q_g} \quad (4)$$

Навпаки, якщо у вузлі змінюється тільки реактивна потужність (вмикається або вимикається джерело реактивної потужності, ($\delta Q_g \neq 0$, $\delta P_g = 0$), то з (3) маємо, що

$$t_{ig} = \frac{\delta P_g}{\delta P_g} - j \frac{\delta Q_g}{\delta Q_g}. \quad (5)$$

Оскільки критерієм оптимальності нормальних режимів ЕЕС є втрати активної потужності, то як коефіцієнти чутливості інтерес в першу чергу представляють перша складова з (4) і друга складова з (5). Відповідно з них формуються матриці чутливості втрат активної потужності у вітках до змін у вузлах активної T_{iP} і реактивної T_{iQ} потужностей. Тоді втрати активної потужності в i -й вітці при зміні режиму у вузлах визначаються:

$$\delta P_i = T_{iP} \delta P, \quad \delta P_i = T_{iQ} \delta Q, \quad (6)$$

де δP і δQ – зміни відповідно активної і реактивної потужностей у вузлах ЕЕС.

Розрахунок чутливості втрат потужності у вітках електричної мережі 110-750 кВ

З метою перевірки ефективності розробленого методу розподілу втрат потужності розраховано матрицю коефіцієнтів розподілу втрат потужності, а також визначено втрати потужності у вітках електричних мереж на прикладі фрагменту схеми Південно-Західної ЕЕС (ПЗЕС) 110-750 кВ (рис. 1). В нього входить 32 вузли, 39 віток та 10 трансформаторних зв'язків. ЕЕС складається з електричних мереж різних класів напруги.

Для підвищення ефективності керування нормальними режимами ЕЕС з метою зменшення втрат електроенергії, необхідно виявляти найбільш ефективні регулюючі пристрої, оцінюючи чутливість втрат потужності у вітках схеми до зміни параметрів режиму ЕЕС, а саме до зміни навантаження (генерування) у вузлах (рис. 2). Для фрагменту схеми ЕЕС 110–750 кВ Південно-Західної ЕЕС в процесі дослідження виконано розрахунок матриці коефіцієнтів чутливості втрат потужності у вітках до зміни навантаження у

вузлах при різних розрахункових умовах. Виконано розрахунок чутливості втрат потужності як у всій ЕЕС, так і у лініях від зміни навантаження у вузлах. Зміна навантаження у вузлі приймається в межах $\pm 5\%$, $\pm 2\%$ від заданого навантаження в ньому. Для прикладу навантаження змінюється у вузлі 901 (підстанція «Рівне 330»). Результати розрахунків приведено у таблиці 1. В останніх стовпцях таблиці приведені значення коефіцієнтів чутливості втрат активної потужності відповідно в електричних мережах і в ЛЕП по відношенню до базового режиму (БР).

Таблиця 1

Результати розрахунків чутливості втрат потужності при зміні навантаження у вузлі 901

Режим	Втрати активної потужності, МВт		Коефіцієнти чутливості втрат активної потужності	
	в системі	в ЛЕП	в системі	в ЛЕП
БР	38,54	36,28	–	–
- 5 %	36,95	34,69	- 0,063	- 0,063
+5 %	40,17	37,92	0,065	0,065
- 2 %	37,93	35,67	- 0,061	- 0,061
+2 %	39,17	36,92	0,063	0,064

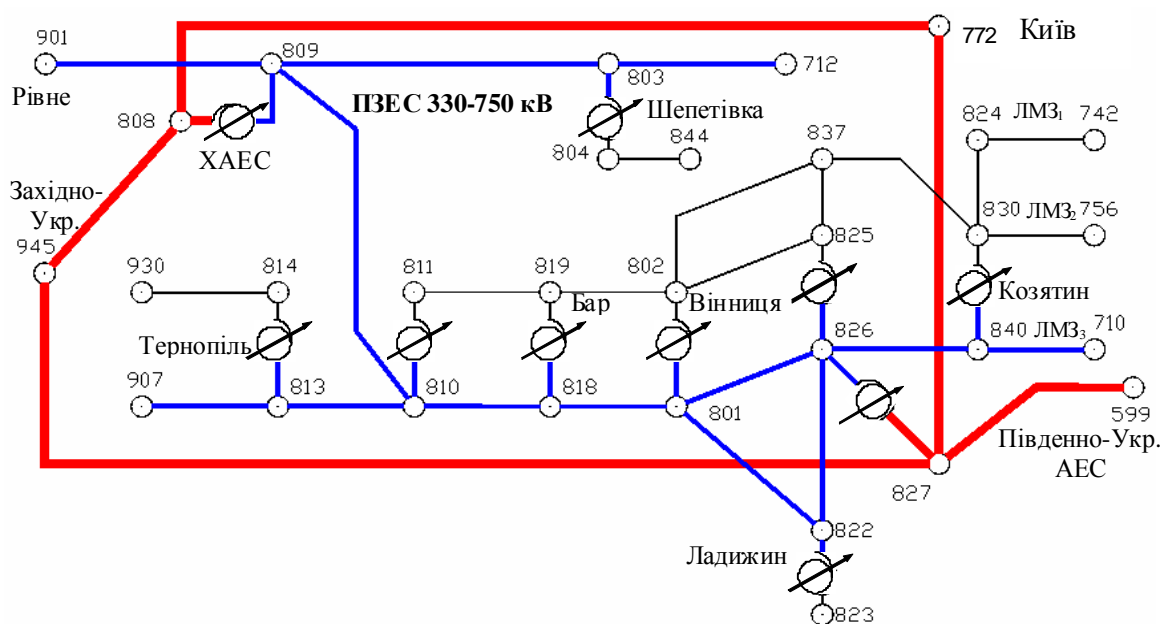


Рис. 1. Фрагмент схеми ПЗЕС 110-750 кВ

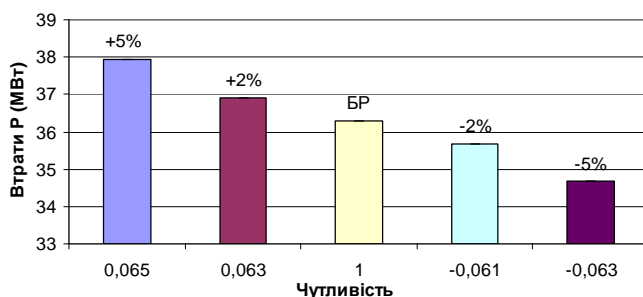


Рис. 2. Чутливість втрат активної потужності у вітках схеми до зміни навантаження у вузлі 901

З табл. 1 видно, що чутливість сумарних втрат в системі і чутливість втрат в лініях електропередачі до зміни навантажень у вузлі в межах $\pm 5\%$ майже співпадають. Те саме спостерігається при зміні навантаження в інших вузлах.. В табл. 2 наведені результати розрахунків чутливості втрат потужності при зміні навантаження у вузлах 945 та 712.

З результатів, наведених в цій таблиці, а також в табл. 1, видно, що коефіцієнти чутливості втрат потужності в ЕЕС при симетричному відхиленні навантаження ($\pm 5\%$, $\pm 2\%$) приймають різні числові значення. Знак коефіцієнтів вказує на збільшення або зменшення приросту втрат.

З табл. 1. і 2 видно, що чутливість втрат в ЕЕС при зміні потужності в окремих вузлах в межах $\pm 5\%$ суттєво відрізняється. Ця різниця складає порядок і більше. Це означає, що оптимізуючі дії в ЕЕС для компенсації впливу збурень потрібно проводити з врахуванням чутливості втрат потужності в ній. Відповідним чином повинні реагувати САК потоками потужності в ЕЕС.

Результати розрахунків чутливості втрат потужності при зміні навантаження у вузлах 945 та 712

Режим	Втрати потужності в системі (МВт)	Коефіцієнти чутливості втрат в системі
БР	38,54	–
Збурення у вузлі 945		
– 5 %	38,22	– 0,027
+5 %	38,78	0,021
Збурення у вузлі 712		
– 5 %	38,50	– 0,003
+5 %	38,61	0,005

Визначення коефіцієнтів якості функціонування трансформаторів з РПН. Властивістю сучасних ЕЕС, яка ускладнює процес керування і значно зменшує ефективність керувальних впливів, є зростання частки обладнання, яке відпрацювало нормативний термін. В разі необхідності продовження його експлуатації, актуальною стає проблема визначення поточного стану та залишкового ресурсу. В багатьох країнах світу, а серед них і в Україні, частка обладнання, яке відпрацювало свій паспортний ресурс, перевищила половину [1]. Тому ознакою сьогодення є підвищення вимог із забезпечення безпечної і безаварійної експлуатації такого обладнання. Це викликано спадом темпів створення нового обладнання, зростанням потужності енергооб'єктів і підсиленням конкуренції між енергокомпаніями, викликаній переходом до ринку електроенергії.

Відповідність поточного й оптимального значень критерію оптимальності (втрат потужності) в ЕЕС досягається за рахунок інтенсивності роботи регулюючих пристроїв (РП). Це призводить до додаткового спрацювання їхнього технічного ресурсу, зниження надійності функціонування що, як наслідок, призводить до відмов і збитків, іноді співрозмірних і навіть більших за техніко-економічний ефект, який досягається в результаті оптимізації. Тому необхідно розробляти математичні моделі для оптимального керування НР ЕЕС з врахуванням технічного стану РП. Це дозволяє більш ефективно використовувати трансформатори з РПН для зменшення втрат електроенергії під час її транспортування.

Тому, мета статті полягає у зменшенні втрат потужності в електроенергетичних системах за рахунок вдосконалення керування параметрами нормальних режимів з врахуванням регульовальної здатності трансформаторів з РПН і їх технічного стану.

Очевидно, що оперативний персонал формуючи керуючі впливи враховує технічний стан електрообладнання. Вибір трансформатора, який краще використовувати для оптимального керування НР ЕЕС, здійснюється, враховуючи такі умови: перемикання бажано реалізувати найбільш надійним трансформатором, тому що пошкодження трансформатора під час перемикань призводить до витрат на його ремонт, які можуть значно перевищити збитки від роботи енергосистеми в неоптимальному режимі в разі відмови від застосування ненадійного трансформатора; використання при керуванні параметрами НР найнадійнішого трансформатора для забезпечення їх оптимальних значень не завжди забезпечує оптимальний режим роботи, тому що трансформатор може бути нечутливий для підтримання режиму в даний момент; розрахункова кількість перемикань для підтримання оптимального режиму (деякі трансформатори може перевести в категорію обладнання з аварійно низьким залишковим ресурсом, а для інших трансформаторів – лише незначним чином зменшує їх ресурс).

Тому пропонується як критерій вибору трансформатора, яким краще здійснювати перемикання, і вибору кількості перемикань використовувати коефіцієнт якості функціонування [9-12, 14-15]. Коефіцієнт якості функціонування враховує надійнісні характеристики трансформатора (зокрема залишковий ресурс), навантаження трансформатора та чутливість зміни втрат потужності в ЕЕС до перемикань РПН саме цього трансформатора. Перемикання потрібно здійснювати таким трансформатором, у якого коефіцієнт якості функціонування найвищий [10-12, 14, 15]. Вибрати відповідний трансформатор складно, враховуючи те, що потрібно мінімізувати втрати і забезпечити надійність роботи РПН (зменшити кількість відмов в роботі РПН) [9-12]. За таких умов для знаходження розв'язку задачі визначення коефіцієнту якості функціонування можна застосовувати програмний комплекс MATLAB, тому що він дозволяє розв'язувати оптимізаційні задачі при вихідних даних, які представлені у вигляді нечітких множин і враховувати експертну інформацію. Розглянемо задачу знаходження коефіцієнта якості функціонування трансформатора залежно від його впливу на втрати в енергосистемі та його залишкового ресурсу. Коефіцієнт якості функціонування трансформатора є комплексним параметром, який враховує не лише можливість трансформатора перетворювати електроенергію, а й можливість ефективно впливати на режим енергосистеми, і визначається за виразом:

$$k_{\text{як.функ.}} = (a_1 + a_2) \cdot k_{\text{ресн}} \cdot k_{\text{ресохол.}} \cdot k_{\text{ресл}} \cdot a_3 \cdot k_{\text{втрат}} \quad (7)$$

та визначають коефіцієнт втрат за виразом:

$$k_{\text{втрат}} = \frac{\Delta P_{\text{неопт}} - \Delta P_{\text{опт}}}{\Delta P_{\text{опт}}},$$

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру «накопичений комутований струм» визначають за формулою:

$$k_{\text{рес}l} = \frac{I_{\text{зал.}} - n \cdot I_{\text{ком.}}}{I_{\text{пасп.}}},$$

залишковий струм комутації за формулою:

$$I_{\text{зал.}} = I_{\text{пасп.}} - I_{\text{нак.}}$$

визначають коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів за формулою:

$$k_{\text{рес}n} = \frac{n_{\text{зал.}} - n}{n_{\text{пасп.}}},$$

коефіцієнт залишкового ресурсу ($k_{\text{ресохол.}i,j}$) для одного охолоджувача по параметру «різниця температур між входом і виходом охолоджувача» визначають за виразом (змінюється в процесі експлуатації від 1 до 0 в.о. для одного охолоджувача):

$$k_{\text{ресохол.}i,j} = \frac{\Delta t_{\text{пот.}i,j}}{\Delta t_{\text{справ.}i,j}},$$

де $\Delta t_{\text{пот.}i,j}$ – поточне значення різниці температур для j -того режиму, $\Delta t_{\text{справ.}i,j}$ – значення різниці температур справного трансформатора для j -того режиму, використовують загальний коефіцієнт залишкового ресурсу всіх охолоджувачів, який розраховують за виразом:

$$k_{\text{ресохол}} = \sum \lambda \cdot k_{\text{рес.}i,j},$$

де $\lambda = 1/\Omega$ – коефіцієнт, який враховує вплив кожного охолоджувача окремо; Ω – кількість охолоджувачів (погіршення стану одного охолоджувача на інший не впливає) вагові коефіцієнти за виразами:

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{сум}}}$$

$$a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{сум}}},$$

$$a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{сум}}},$$

вартість понаднормованих технічних втрат потужності за виразом:

$$B_3 = (\Delta P_{\text{пот}} - \Delta P_{\text{норм}}) \tau C,$$

сумарну вартість за виразом:

$$B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3,$$

де B_1, B_2 – вартості: – втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, – ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачях; $n_{\text{зал.}}$ – залишкова кількість перемикачів; $n_{\text{пасп.}}$ – кількість перемикачів, яка вказана в паспорті трансформатора; n – кількість потрібних перемикачів для досягнення оптимального режиму; $\Delta P_{\text{опт}}$ – оптимальне значення втрат активної потужності; $\Delta P_{\text{неопт}}$ – значення втрат активної потужності при відмові від перемикачів даним трансформатором; $I_{\text{зал.}}$ – залишковий струм комутації; $I_{\text{ком}}$ – струм, який комутує трансформатор при одному перемикачній; $I_{\text{пасп.}}$ – струм, який повинен комутувати трансформатор по паспорту; $I_{\text{нак.}}$ – накопичений комутований струм; $\Delta P_{\text{норм}}$ – нормативне значення технічних втрат активної потужності; $\Delta P_{\text{пот}}$ – поточне значення втрат активної потужності; C – вартість електроенергії; τ – тривалість періоду між перемикачями.

Висновки. Для розв'язання задач оптимального керування параметрами НР ЕЕС режиму потрібно використовувати системний підхід на етапі створення алгоритмів визначення оптимальних параметрів НР та на етапі розробки законів оптимального керування, який передбачає визначення керуючих впливів на РПН трансформаторів з одночасним врахуванням в створюваних алгоритмах чутливості втрат потужності в вітках до зміни навантаження в вузлах, технічного стану регулюючих пристроїв, зміни показників якості електричної енергії під час використання РПН, змін втрат електричної енергії. В результаті досягається загальносистемний ефект щодо зменшення сумарних втрат електричної енергії. Тобто в даній роботі вдосконалено метод визначення керуючих впливів трансформаторами з РПН з урахуванням коефіцієнта чутливості втрат потужності в вітках до зміни навантаження в вузлах та коефіцієнта якості їх функціонування, використання якого дозволяє оцінити доцільність здійснення керуючих впливів і зменшити затрати, зумовлені пошкодженням трансформаторів з РПН.

1. Баринов В. А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления / В. А. Баринов, С. А. Совалов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 440 с.
2. Крумм Л. А. Методы оптимизации при управлении электроэнергетическими системами: моногр. / Крумм Л. А. – Новосибирск: Наука, 1981. – 317с.
3. Жуков Л. А. Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем: методы расчета / Л. А. Жуков, И. П. Стратан – М.: Энергия, 1979. – 416 с.
4. Абраменкова Н. А. Структурный анализ электроэнергетических систем в задачах моделирования и синтеза / Абраменкова Н. А., Воропай Н. И., Заславская Т. Б. – Новосибирск: Наука, 1990. – 224 с.
5. Анализ неоднородностей электроэнергетических систем / [Войтов О. Н., Воропай Н. И., Гамм А. З. и др.]. – Новосибирск: Наука, 1999. – 250 с.
6. Лежнюк П. Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом / Петро Дем'янович Лежнюк. – Монографія – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2003. – 131 с.
7. Баринов В. А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления / В. А. Баринов, С. А. Совалов – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 440 с.
8. Лежнюк П. Д. Оптимальне керування потоками потужності і напругою в неоднорідних електричних мережах./ П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик – Монографія – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. – 188 с.
9. Щербина Ю. В. Снижение технологического расхода энергии в электрических сетях / Щербина Ю. В., Бойко Н. Д., Бутенко А. Н. – К.: Техніка, 1981. – 104 с.
10. Экономия электроэнергии в электрических сетях / [Магда И. И., Меженный С. Я., Сулейманов В. Н. и др.]; под ред. Н. А. Качановой и Ю. В. Щербины. – К.: Техніка, 1986. – 167 с.
11. Розенвассер Е. Н. Чувствительность систем управления / Е. Н. Розенвассер, Р. М. Юсупов. – М.: Наука, 1981. – 464 с.
12. Кириленко О. Інформатизація та інтелектуалізація систем керування в електроенергетиці: деякі підсумки за останні роки / Олександр Кириленко, Артур Праховник // Технічна електродинаміка: спеціальний випуск – 2010. – С. 10-17.
13. Пат. 61058 Україна, МПК8 Н02J3/24. Спосіб оптимального керування нормальними режимами електроенергетичної системи / Лежнюк П. Д., Рубаненко О. О.; заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет – заявл. 29.11.10; опубл. 11.07.11. Бюл. № 13, 2011р.
14. Лежнюк П. Оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з урахуванням планового значення технічних втрат потужності / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – 2011. – № 1. – С.192-193.

Надійшла 11.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Лежнюк П.Д.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

В статье рассматриваются принципы построения современных программируемых радиостанций. При этом особое внимание уделяется новым стандартам беспроводной связи *Wi-Fi* и *WiMAX*, которые могут использоваться таким классом радиостанций.

Ключевые слова: связь, беспроводные технологии, программируемая радиостанция

*In the article discussed the principles of modern programmable radio stations. Particular attention paid to new standards of wireless communications *Wi-Fi* and *WiMAX*, which can be used with this class of radio stations.*

Keywords: communications, wireless, programmable radio

Введение

В настоящее время основной проблемой развития и распространения специальных систем радиосвязи является несовместимость средств связи различных ведомств и различных операторов связи. Для решения данной проблемы используют технологию программируемых радиостанций *SDR* (*software defined radio*) [1]. Программируемая радиостанция (ПРС) использует стандартные аппаратные средства для выполнения функций под управлением программного обеспечения. Разработчики ПРС возлагают большие надежды на открытую архитектуру *SDR* радиостанций следующего поколения, где радиостанции могут выпускать одни производители, а функции и режимы работы будет определять программное обеспечение других разработчиков. Технологические успехи в области совместимых программных средств, систем цифровой обработки сигналов и микропроцессоров делают подобные проекты реальными.

Программируемые радиостанции позволят повысить качество обслуживания посредством высокой адаптивности, упрощают разработку программной части оборудования и создают новые возможности при реализации новых стандартов [2].

Использование ПРС позволит различным ведомствам и операторам мобильной связи иметь инфраструктуру с учетом развития средств связи, т.е. точки радиодоступа, сотовые площадки и беспроводные сети передачи данных, которые могут быть легко переведены под новый стандарт. В противном случае оператор должен производить полную замену оборудования или какое-то время одновременно эксплуатировать оборудование нескольких типов.

Особое внимание следует уделить современным телекоммуникационным технологиям, таким как *Wi-Fi* (стандарт IEEE 802.11) и *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), которые используются совместно в современных сетевых беспроводных устройствах.

Основной раздел

В существующей отечественной литературе не уделено достаточного внимания принципам построения программируемых радиостанций, в связи с этим возникает задача анализа структуры их построения.

Целью работы является обзор существующих и перспективных ПРС, преимуществ их использования, анализ структуры их построения и современных телекоммуникационных технологий.

В коммерческой сфере предоставления услуг беспроводной цифровой связи компьютеров и мобильных устройств наиболее распространённым стандартом является стандарт *Wi-Fi*. Данный стандарт позволяет осуществлять связь в локальной сетевой зоне частотных диапазонов 2,4; 3,6 и 5 ГГц. Для работы нескольких мобильных устройств (клиентов) необходимо наличие точки доступа, два клиента могут соединиться между собой напрямую.

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

- Автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные, умные)
- Точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные)
- Бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)
- По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети:
 - Со статическими настройками радиоканалов
 - С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов
 - Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов

Недостатком данной телекоммуникационной технологии является небольшой радиус обслуживания – порядка 20м в помещении и 100 м на открытой местности. Данного недостатка лишена относительно новая технология – *WiMAX*. Радиус обслуживания базовой станции для технологии *WiMAX* составляет $8 \cdot 10^4$ м (стандарт IEEE 802.16d).

Необходимость мобильности коммуникационных устройств и большое количество рабочих

режимов заставила производителей реализовывать обе технологии. Использование подхода *SDR* позволяет упростить и удешевить реализацию нескольких коммуникационных технологий в рамках одного устройства.

Первой удачной попыткой в области ПРС явился проект МО США *SPEAKeasy I*, целью которого было создание мультдиапазонной, многорежимной *SDR*-радиостанции, позволяющей осуществлять обмен информацией подразделениям различных военных ведомств [1]. Эксперимент по проверке совместимости системы *SPEAKeasy I* был проведен ВВС США в 1993 году. Станция могла работать в двух различных частотных диапазонах, поддерживая два различных интерфейса для связи между обычными аналоговыми радиостанциями СВ-диапазона (сухопутные силы) и станциями цифровой системы связи с расширением спектра методом скачкообразного изменения частоты (СИЧ) (тактическая авиация). В 1996-1997 годах компания *Motorola* разработала систему *SPEAKeasy II*, согласно которой планировалась разработка радиостанций, обладающих открытой архитектурой, и работающих в диапазоне до 2 ГГц [1].

В настоящее время в США основная программа, использующая технологию *SDR*, – объединенная тактическая система радиосвязи *JTRS (Joint Tactical Radio System)*, которую можно рассматривать как развитие проекта *SPEAKeasy* [3,4]. Целью программы является выпуск семейства радиостанций тактического назначения для передачи речевых сообщений, видео и данных в диапазоне от 2 МГц до 2 ГГц в условиях прямой и непрямой видимости с использованием одного из 40 различных способов модуляции. Многие из этих видов модуляции используются именуемыми на вооружении радиостанциями [4].

Работами по программе *JTRS* занимается “команда коммуникаций и электроники” (*Communications Electronics Command*) армии США под руководством Департамента обороны США, однако все работы проводятся на контрактной основе. Так, архитектуру радиостанций для *JTRS* разрабатывает консорциум компаний во главе с *Raytheon Command, Control, Communications and Information Systems*, включающий также *ITT Industries, Rockwell Collins* и *Marconi CNI Division*.

Система *JTRS* включает следующие программы ведения тактических действий [4]: *WNW-BEAM*, *-OFDM*, *-AJ*, *-LPI*, *HAVEQUICK I, II*, *UHF SATCOM*, *SINGGARS*, *LINK-4A*, *-11B*, *-16*, *-22*, *EPLRS*, *LMR*, *DWTS*, *SATURN*, *Iridium*, *Globalstar*, а также поддерживает *WLAN*, сотовую связь различных стандартов (*GSM*, *CDMA*) и транкинговую связь стандартов *TETRA*, *TETRAPOL*. Радиосредства этих программ перекрывают частотный диапазон от 2 МГц до 2 ГГц и используются для ведения наземных, воздушных и морских операций. В настоящее время на стадии разработки из перечисленных программ находится только *WNW*.

Компания *Harris* в работах по проекту использует радиостанцию *AN/PRC-117 (C)* семейства *Falcon II*, уже поставляемую для ВМС США [5]. Основная особенность этой мультдиапазонной многорежимной станции – возможность программного перепрограммирования. Компания видит приоритетную задачу в повышении канальной емкости своих радиосистем за счет увеличения их спектральной эффективности в высокочастотном диапазоне. Для этого исследуются новые виды модуляции и радиointерфейсы. Компания *Motorola* на этапе *Step 2* занималась верификацией архитектуры *SCA* по программе программируемых радиостанций *DMR (Digital Modular Radio)*, создаваемой по отдельному контракту с ВМС США. *DMR* – предшественница *JTRS*, поддерживает радиointерфейсы систем связи *DAMA*, *HAVE QUICK* и *SINGGARS*, а также обмен данными по *Link 4A* и *Link 11*. Продолжением проекта *DMR* стала разработанная компанией *Motorola* технология *WITS (Wireless Information Transfer System)*, согласно которой была выпущена *SDR*-станция *AN/USC-61 (C)*. Эта радиостанция поддерживает большинство тактических программ и работает в диапазоне частот 2МГц-2ГГц. В качестве модуляции используется *AM*, *FM*, *FSK*, *BPSK*, *SBPSK*, *QPSK* [6,7].

Компания *Rohde & Schwarz* разработала серию универсальных цифровых многодиапазонных радиостанций *M3TR* для тактического звена в целях замены большого количества разнотипных несовместимых между собой средств КВ и УКВ радиосвязи для всех видов вооруженных сил Германии. В 2004 году радиостанции компании *Rohde & Schwarz M3TR* заменили стоявшие на вооружении швейцарской армии радиостанции *SE-229*, получив новое условное наименование *SE-239*. Основное достоинство этой радиостанции – простота смены режима работы за счет загрузки соответствующего ПО. *M3TR* может поддерживать радиointерфейсы натовских систем *HAVE QUICK I, II*, *SATURN* и *SECOS*, а также таких стандартов, как *SINGGARS*, *PR4G* и *SEM*. Радиостанция *M3TR* работает в диапазоне частот 1,5-512 МГц, может подключаться к сетям *TCP/IP*, обмениваться данными со скоростью до 72 кбит/с, одновременно передавая речевые сообщения.

В настоящее время лидером в разработке *SDR*-станций по программе *JTRS* является корпорация *Spectrum Signal Processing Inc (США)*. Эта корпорация выпустила радиостанции, обладающие открытой архитектурой *SCA* версии 2.2, *SDR-3000* и *SDR-4000*. Эти радиосредства предназначены для передачи речи и данных в диапазоне частот от 0,5 МГц до 3 ГГц с использованием расширения спектра методом СИЧ со скоростью 5000 скачков/сек для *SDR-3000* и 1000 скачков/сек для *SDR-4000*. В данных радиосредствах помимо поддержки большинства тактических программ также используются протоколы взаимодействия с различными сетями мобильной радиосвязи второго поколения и сетью *WCDMA* третьего поколения [8].

ПРС – оборудование, в котором форма сигнала, содержащего продукты модуляции, определяется программным обеспечением, форма колебания создается путем генерации цифровых сигналов, преобразования цифрового сигнала в аналоговый с помощью широкополосного ЦАП, и затем, возможно, преобразования вверх из ПЧ в ВЧ. Приемник, точно так же использует широкополосный АЦП, который захватывает все каналы, принимаемые радиостанцией. Приемник затем извлекает, преобразует вниз и

демодулирует сигналы каждого канала, используя принцип программного управления. ПРС использует комбинацию методов, которые включают многодиапазонные антенны и радиочастотные преобразователи; широкополосные ЦАП и АЦП; а реализация обработки сигналов ПЧ, демодулированных сигналов и результирующего цифрового потока происходит с помощью цифровых сигнальных процессоров (*DSP – Digital Signal Processor*) и микросхем программируемой логики (*FPGA – Field Programmable Gate Array*).

В перспективных ПРС предполагается полностью исключить отдельные входные цепи и осуществлять выделение сигналов программными средствами уже во входных цепях [3].

После АЦП обработка сигнала происходит в соответствии с заданным режимом работы при помощи программируемой радиосистемы, реализованной с использованием архитектуры, допускающей динамическое изменение параметров. С декабря 2000 года по 2006 год *Raytheon Command, Control, Communications and Information Systems* представляло практически один и тот же вариант архитектуры *SCA* (рис. 1) – *Software Communications Architecture* [9-11].

Архитектура *SCA* была разработана с применением объектно-ориентированного подхода (ООП). Язык *UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования)* использовался для графического представления интерфейсов, в то время как сами интерфейсы определялись языком *IDL (Interface Definition Language – язык описания интерфейсов)*. Оба описания (*UML* и *IDL*) могут быть реализованы при помощи стандартных средств разработки, что позволяет начать непосредственную разработку с определения базовых концепций архитектуры.

Под архитектурой ПРС понимается целостный, взаимоувязанный и достаточный набор функций, компонентов и правил проектирования вместе с соответствующими интерфейсами, в соответствии с которыми можно разработать и реализовать систему. Конкретная архитектура состоит в распределении функций между компонентами, таким образом, чтобы каждая функция была присвоена какому либо компоненту и интерфейсы между компонентами соответствовали интерфейсам между функциями. Если такие функции и интерфейсы определяются путем общественного обсуждения, полученная архитектура считается «открытой».

В основу архитектуры *SCA* положен стандарт (технология) *CORBA (Common Object Request Broker Architecture – общая архитектура брокера объектных запросов)*, которая определяет общие принципы построения распределенных приложений. Стандарт *SCA* базируется на объектной модели в рекомендации *X.733ITU-T*, специализированном языке *IDL* и архитектуре управления объектами *OMA (Object Management Architecture)*. Использование *CORBA* позволяет достичь максимальной универсальности модулей *SDR* за счет универсальности стандарта и обеспечить независимость от протокола передачи, используемой структуры данных и аппаратной базы.

В соответствии с руководящим принципом стандарта *TEMPEST NACSAM 5203* всё множество используемого оборудования делится на «красное» и «черное» подмножества («красную» и «черную» область). «Красная» область – оборудование, по цепям которого распространяется секретная информация в открытом виде. «Черная» область – оборудование, обрабатывающее сигналы, которые являются неопределёнными из-за содержания текста или по причине того, что сведения уже зашифрованы.

Ключевыми преимуществами используемой архитектуры *SDR* являются [9]:

1. Максимальное использование коммерческих протоколов и продуктов.
2. Изолирование приложений уровня ядра и приложений нижнего уровня с использованием множественных уровней открытой коммерческой программной инфраструктуры.
3. Использование среды распределенной обработки, имеющей в основе технологию *CORBA*, обеспечивающей программную переносимость, повторное использование кода и масштабируемость.

Архитектура *SCA* определяет операционную среду (*OE – Operating Environment*) как объединение набора сервисов ядра (*Core Framework Services*) и инфраструктурного программного обеспечения (ПО), включая промежуточное программное обеспечение (ППО). Операционная среда является интегрированным компонентом *SCA*.

При проектировании структуры ПО системы была применена архитектура *SCA*.

Основными компонентами операционной среды, согласно [9-12], являются:

CORBA Middleware – ППО *CORBA*. Прежде всего, *ORB (Object Request Broker – брокер объектных запросов – ядро CORBA* и любого приложения написанного с использованием этой технологии, обеспечивает пересылку запросов между *CORBA*-объектами), а также различные сервисы предусмотренные спецификацией *CORBA*, как-то сервис именованя, сервис событий и т. д. ППО обеспечивает работу приложений, написанных с использованием данной технологии. Интерфейсы взаимодействия различных компонентов определяются при помощи языка *IDL*.

CF Services & Application – сервисы и приложения, относящиеся к инфраструктуре ядра. Обеспечивают высокоуровневый подход при программировании и проектировании прикладных систем.

Оба рассмотренных компонента функционируют под руководством операционной системы – *Operation System*. В качестве примера подобной ОС предлагается *POSIX*, по причине совместимости со стандартом *CORBA OMG*. Предусматривается использование *POSIX 1003.13* – подвид *POSIX*, специально разработанный для систем управления реальным временем (*PSE52*) (в дальнейшем – *SCA POSIX Profile*). Все интерфейсы взаимодействия для данного компонента также определяются при помощи языка *IDL*.

Network Stacks & Serial Interface Services – стеки сетевых протоколов и последовательные

интерфейсы. Обеспечивают взаимодействие в сети. В качестве поддерживаемых протоколов используются *PPP, SLIP, LAPx*, а также *TCP/IP*. Помимо сетевых протоколов этот блок отвечает за поддержку различных последовательных интерфейсов передачи данных: *RS-232, RS-422, RS-423, RS-485, Ethernet* и *802.x*.

Board Support Packages – средство обеспечения кроссплатформенности, для организации аппаратного интерфейса с конкретной средой передачи или системной шиной. В качестве таковых используется *VME, PCI, CompactPCI, Firewire (IEEE-1394), Ethernet*. Предполагается, что система с *SCA* архитектурой может функционировать не только в распределенном виде, но и на различных аппаратных платформах.

Рассмотренная операционная среда представляет собой базу, на основе которой функционирует основное приложение. Операционная среда и ее компоненты не выполняют полезной работы, однако обеспечивают необходимую функциональность для основного уровня. Основным уровнем рассматриваемой архитектуры является уровень приложения – *Application*. Согласно [9-11], на уровне приложения выделяются компоненты (уровни) различной функциональности:

1. *Modem-level digital signal processing* – обработка цифрового сигнала модемом;
2. *Link-level protocol processing* – обработка протокола соединения;
3. *Network-level protocol processing* – обработка протокола сети;
4. *Internet routing* – межсетевая маршрутизация;
5. *External input/output (I/O) access* – внешний ввод/вывод;
6. *Security* – безопасность;
7. *Embedded utilities* – внедренные программы.

Все указанные компоненты приложений при работе используют сервисы *CF*. Взаимодействие компонентов приложений непосредственно с ОС ограничено спецификацией *SCA POSIX Profile*. Взаимодействие компонентов приложений с сетью при помощи ОС не ограничивается.

Каждый подобный компонент приложения рассматривается состоящим из двух частей: непосредственно компонента (*component*), выполняющего прикладную задачу, и адаптера (*adapter*), задачей которого является интеграция компонента (который может быть реализован и без использования технологии *CORBA*) в систему, использующую архитектуру *SCA*.

При передаче сообщения с использованием исключительно ресурсов *CORBA* сообщение будет проходить по пути *B1-B5*. При использовании ресурсов, реализованных с использованием альтернативных технологий, сообщение в общем случае будет передаваться по пути *A1-A9*.

Компоненты приложения состоят из одного или более ресурса (*resource*) [4-7]. Различные ресурсы системы определяют режимы работы радиостанции, переключения между которыми осуществляется с использованием принципа программного управления. Ресурс реализует интерфейс управления и конфигурации программного компонента.

Архитектура *SCA* предусматривает использование особого вида ресурсов – устройств (*devices*), которые используются в качестве программных представителей реальных устройств. Разработка внутренней функциональности устройств не декларируется *SCA*, оставляя решение за разработчиком.

На рис. 1 изображены основные классы ресурсов, присущих *SCA* архитектуре (*ModemDevice, I/ODevice, SecurityDevice, NetworkResource, LinkResource* и *UtilityResource*), а также показаны их подклассы, обладающие более узкой функциональностью.

Как можно видеть, ресурс может обслуживать несколько уровней приложения *SCA*. Так, ресурс сети (*NetworkResource*) функционирует на уровнях сетевого соединения в черной (3) и красной (5) области, при этом реализует сетевой *API*, который относится к уровню операционной среды (7).

Методы и атрибуты, предоставляемые основными интерфейсами ресурсов, позволяют организовать их взаимодействие в среде *SCA*. Для обмена сообщениями между ресурсами и устройствами используется передача сообщений через порты (*port*).

Функциональность ресурсов *SDA* описана с использованием диаграмм *UML*. В верхней части прямоугольника-ресурса указано его название, в нижней – реализуемая функция. Связь «1.* к 1» указывает на то, что ко множеству ресурсов первого вида относится один ресурс второго вида, соответственно «1.* к 1.*» указывает отношение «многие ко многим» и «1 к 0.*» – «один к многим» или к пустому множеству. Полая стрелка указывает на отношение, при котором ресурс, из которого она исходит, является более конкретизированным потомком (в терминах ООП) инкапсулирующим часть функциональности родителя. *API (Application Programming Interface)* – интерфейс прикладного программирования, набор функций, предоставляемый для использования в прикладных программах. *LLC (Logical Link Control)* – управление логическим каналом, верхний подуровень канального уровня в семиуровневой модели *ISO/OSI*.

Ресурс модема (*ModemDevice*) представляет собой практически автономное устройство передачи данных, в связи с чем обладает большим числом функций, разделяемых между несколькими подресурсами. Ресурс модема в стандарте *SCA* помимо присущих ему операций по модуляции/демодуляции также выполняет функции помехоустойчивого кодирования/декодирования. В дополнение к этому модем управляет частотой и шириной полосы, в которой ведется передача, осуществляет подавление помех, фильтрацию и т. п. Архитектура *SCA* помимо имеющегося в ее составе криптомодуля (*SecurityDevice*) предусматривает наличие дополнительных протоколов защиты: *Communication Security – COMSEC* и *Transition Security TRANSEC*. Служба точного времени, необходимая для синхронизации частей

распределенного приложения, запущенных на различных узлах вычислительной сети, также функционирует на уровне этого ресурса.

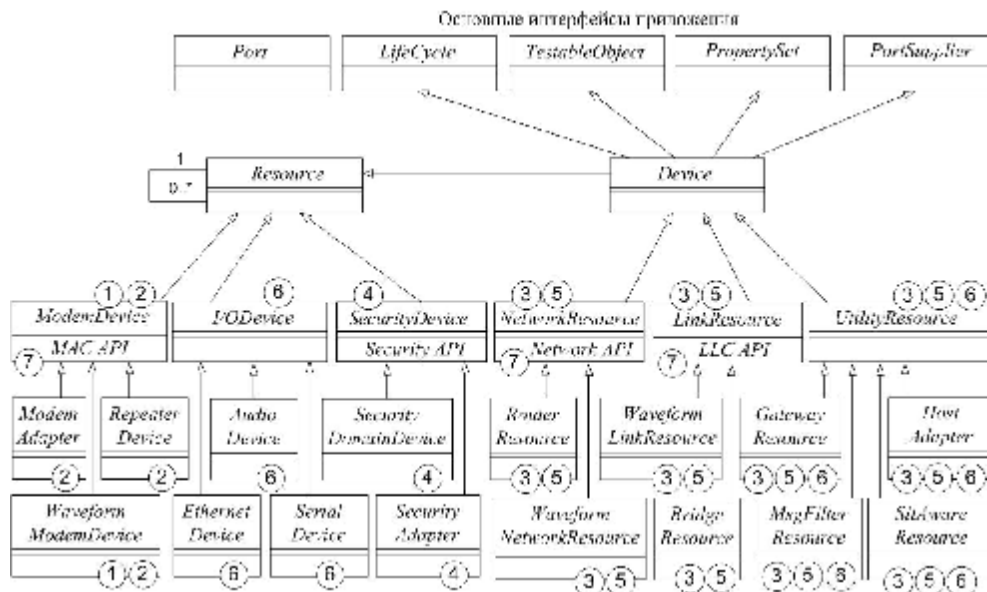


Рис. 1. Ресурсы и интерфейсы приложения

Наиболее важными особенностями реализации ПРС по программе *JTRS* является использование в их структуре современных методов модуляции, помехоустойчивого кодирования и технологий расширения спектра.

При этом используются следующие виды модуляции: *CCSK* – циклическая манипуляция; *CPM* – модуляция с непрерывной фазой; *BPSK* – фазовая манипуляция (ФМ); *OQPSK* – смещенная квадратурная ФМ; *DQPSK* – дифференциальная квадратурная ФМ; *DOQPSK* – дифференциальная смещенная квадратурная ФМ; *D16PSK* – дифференциальная ФМ-16; *FSK* – частотная манипуляция; *FM* – частотная модуляция; *ASK* – амплитудная манипуляция.

Ресурсы ввода/вывода (*I/ODevice*) служат для организации взаимодействия радиосредства с удаленными узлами (использование сети *Ethernet*, последовательных интерфейсов и т.п.), а также для непосредственного ввода информации (с микрофона, клавиатуры, файла и т.п.) или ее вывода (на громкоговоритель, файл, печать и т.п.). Дополнительной функцией этого класса ресурса является организация кодирования/декодирования аудио и видео информации с использованием стандартных методов сжатия.

Ресурсы безопасности (*SecurityDevice*) предназначены для обеспечения криптозащиты передаваемых данных. Функции данного ресурса следующие: шифрование и дешифрование, выполнение аутентификации, операции работы с ключами и др.

Ресурсы обеспечения сетевого взаимодействия (*NetworkResource*) предназначены для интеграции различных узлов *SCA* системы в единую коммуникационную сеть. Функции, выполняемые ресурсом этого типа, во многом схожи с функциями обычного сетевого маршрутизатора: осуществление маршрутизации, трансляция адресов, поддержание маршрутных таблиц, групповые (*multicast*) и широковещательные (*broadcast*) передачи и др.

Среди дополнительных функций данного ресурса стоит выделить измерение и анализ качества соединения, на основании которого может приниматься решение о маршрутизации и выполняться переконфигурация модема, контроль качества обслуживания (*QoS – Quality of Service*), организация передач потоков данных с различными приоритетами и др.

Примером программы, входящей в *JTRS* является *WNW (wideband networking waveform)*. Это широкодиапазонная радиосеть, в составе которой планируется использовать радиосредства следующего поколения, использующие архитектуру *SCA*, для вооруженных сил стран НАТО [12,13]. Предполагается, что радиосеть *WNW* заменит большинство тактических программ и обеспечит передачу данных, речевой информации и видеоизображений для воздушных и наземных операций в диапазоне от 2МГц до 2ГГц и выше. Радиосеть *WNW* обеспечивает взаимодействие воздушных средств различного предназначения как между собой, так и с сухопутными мобильными средствами и стационарными объектами.

Предполагается, что радиосеть *WNW* будет использовать четыре режима работы:

1. *WNW – OFDM* (широкодиапазонная радиосеть с ортогонально-частотным множественным разделением).
2. *WNW – LPI/LPD* (широкодиапазонная радиосеть с низкой вероятностью перехвата/низкой вероятностью обнаружения).
3. *WNW – AJ* (широкодиапазонная радиосеть с противодействием преднамеренным помехам).

4. WNW – BEAM (широкодиапазонная радиосеть с использованием спектрально-эффективных методов модуляции).

Множественный доступ в сети достигается посредством технологии CDMA/TDMA. Межсетевой множественный доступ осуществляется с использованием методов CDMA (Code Division Multiple Access – многостанционный доступ с кодовым разделением каналов) и FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum – расширение спектра методом скачкообразного изменения частоты). Использование адаптивных антенных решеток позволяет повысить скорость передачи информации посредством технологии SDMA (Space Division Multiple Access – множественный доступ с пространственным разделением).

Выводы

Проведенный анализ показывает возросший интерес в развитых странах мира к программной реализации функций обработки сигналов в современных радиосредствах, что определяет необходимость дальнейшего исследования архитектуры ПРС, разработки отечественных программируемых приложений, которые могли бы использоваться в данных ПРС.

Одной из ключевых проблем, возникающих при построении ПРС, является проблема защиты информации передаваемой и обрабатываемой в системах связи с ПРС. Эта проблема состоит из двух направлений: защита программного обеспечения (программируемых приложений) и защита обрабатываемой информации (данных).

Перспективным направлением совершенствования методов повышения помехозащищенности ПРС является адаптация по различным параметрам – частоте, структуре сигнальной конструкции, мощности и т.д. Поэтому на физическом уровне открытой архитектуры целесообразно рассмотреть возможность использования адаптивного контура, спектрально-эффективных сигнальных конструкций и использовать технологии расширения спектра.

В связи с высокими показателями помехоустойчивости, присущих турбокодам в области малых отношений сигнал-шум, их целесообразно использовать в качестве корректирующих кодов для построения сигнально-кодовых конструкций, а в качестве систем модуляции ФМ-М, КАМ-М, модуляцию с непрерывной фазой, решетчатую кодовую модуляцию и решетчатую турбокодую модуляцию.

Литература

1. Щербак Н. Программируемые радиостанции – будущее тактической связи / Н. Щербак // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2001. С. 16-19.
2. Maier K. Mapping waveforms to systems: What would a wideband networking waveform system require? // Military EMBEDDED SYSTEMS. – October, 2005. P. 38-41.
3. Uhm M. Adaptivity in Action for SDR and Cognitive Radio // COTS Journal. – February, 2006. (<http://www.cotsjournalonline.com>)
4. Joint Tactical Radio System (Encyclopedia) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.absoluteastronomy.com>
5. Tactical communications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rfcomm.harris.com>
6. General dynamics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gdc4s.com>
7. Rohde and Shwartz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rohde-schwarz.com>
8. Spectrum signal processing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spectrumsignal.com>
9. Software Communications Architecture Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jtrs.spawar.navy.mil>
10. Gonzalez A., Hess R. Joint Tactical Radio System. SCA Developer's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jtrs.spawar.navy.mil>
11. Software Communications Architecture Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jtrs.spawar.navy.mil>
12. Specialized Hardware Supplement to the Software Communication Architecture Specification // JTRS-5000 SP, V3.0. – August 27, 2004. P.4-1 – 4-7. (<http://jtrs.spawar.navy.mil>)
13. Guice R., Munoz R. IEEE 802.16 Commercial off the as a Shelf Technologies as a Compliment to Ship to Objective Maneuver Communications // Master of Science in Information Technology Management, Naval Postgraduate School. – September, 2004. P. 13-39.

Надійшла 7.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Кувшинов О.В.

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ ЦІННІСНО-ОРІЄНТОВАНОГО РОЗВИТКУ ОРГАНІЗАЦІЇ

Розглянуто методи вирішення задачі формування портфеля проектів та запропоновано метод формування портфеля розвитку організації із застосуванням ціннісно-орієнтованого підходу в умовах існуючих обмежень на загальну вартість портфелю у обчислюваний період.

Ключові слова: портфельне управління, формування портфелю розвитку, стратегічні цілі організації, ціннісно-орієнтований підхід, задача формування портфеля, ранжування компонентів портфеля.

The decision methods for task of project portfolio formation are considered and the formation method of project development portfolio of organization is offered with application of valued-oriented approach, in the conditions of existent limits on a total portfolio cost in a calculated period.

Keywords: portfolio management, a portfolio development, strategic organizational objectives, values-driven approach, the task of forming the portfolio, ranking components portfolio.

Вступ. Формування портфеля розвитку є одним з ключових завдань, що стоїть перед системою будь-якого рівня: будь то окрема компанія, ціла галузь або регіон. При цьому неоднозначною залишається задача відбору до портфелю таких проектів, які здатні не лише максимізувати поточний рівень прибутку, але і забезпечити стабільний розвиток певних цінностей, тобто підвищити цінність компанії в майбутньому. При формуванні такого портфеля розвитку особам, що приймають рішення, доводиться спиратися на нечітку інформацію. Завдання ускладнюється тим, що важко поєднати фінансову ефективність портфелю і стратегічні перспективи розвитку. В світлі вищесказаного запропоновано одночасно формувати два різних портфеля проектів: один портфель, орієнтований лише на фінансову ефективність, а другий – портфель розвитку організації. Задача розробки фінансово ефективного портфеля проектів добре відома і має достатньо прикладів ефективних рішень [1, 2, 3]. Задача формування портфелю розвитку слабо формалізована і тісно пов'язана із стратегічним плануванням. Можливості формування стратегічного портфелю розвитку на основі ціннісного підходу залишається актуальною задачею управління проектами.

Аналіз досліджень та публікацій. Методичні і науково-дослідні роботи, що існують на сьогоднішній день, в області управління портфелями проектів не дозволяють однозначно вирішити завдання формування стратегічного портфеля. Інвестиційний підхід [4, 5, 6, 7] заснований на єдиній методологічній базі розглядає портфель проектів тільки із аспектів прибутковості та витрат, не зважаючи на реальні процеси управління портфелем. Це не дозволяє враховувати довгострокові стратегії розвитку підприємства і направляти фінансові засоби на підвищення цінності компанії.

Сучасна концепція портфельного управління полягає в створенні організації, діяльність та розвиток якої можуть бути представлена як сукупність різних компонентів портфелю, що забезпечують збільшення цінності організації саме в своїй сукупності. Такі організації стають більш конкурентоздатними по відношенню до вертикально інтегрованих підприємств з їх функціональною організацією діяльності. Ця концепція піднімає на одне з головних місць в системі управління підприємством так званий портфель розвитку, який дозволяє визначити критерії і пріоритети при ухваленні рішень відносно реалізації тих або інших проектів [10]. Управління портфелем проектів – це вищий рівень зрілого проектного менеджменту в організаціях. При ідентифікації специфічних задач в управлінні портфелем проектів для менеджера портфеля виявлені наступні додаткові функції, що визначають відмінні ознаки портфельного управління:

- встановлення пріоритетів і вирівнювання компонентів управління портфелем у відповідності зі стратегічними цілями;
- вимір зростання цінності організації за допомогою ринкових інструментів;
- забезпечення ключових акціонерів своєчасними результатами оцінки, ідентифікації впливів компонентів портфеля на показники організації.

Ціннісно-орієнтований підхід розглядає портфель проектів, як зобов'язання створити певні цінності, що обумовлені специфічною місією конкретної організації [10, 14]. Про цінності, як правило, говорять в контексті вироблення стратегії розвитку компанії. Відповідно до Леонтьєва Д.О. [17] цінність – це міждисциплінарне загальне поняття, що має три рівня: особистісний, груповий та суспільний. Очевидно, що у системі цінностей організації всі три рівня відіграють певну роль. У менеджменті обрані цінності дозволяють визначити вектор розвитку компанії. Проте різні трактування поняття «цінність» породжують серйозну проблему нерозуміння, коли загальна картина розвивається термінами «місія» і «бачення». Ці поняття давно увійшли до лексики управлінців і визначають стабільний розвиток компанії в майбутньому. Але всі розуміють, що проголошення місії і бачення не гарантує їх реалізації. І тому саме проектний менеджмент виступає головним інструментом практичної діяльності, в силу своєї направленості на кінцевий результат. Оскільки, якщо цінності не упроваджені в практичні дії, то всі проголошення виявляються порожніми гаслами. Саме портфель проектів є інструментом, який дозволяє визначити зрозумілі завдання для виконавців, щоб оптимістичне бачення майбутнього компанії стало реальністю.

Метою статті є розробка методу формування на підприємстві портфелю розвитку на основі ціннісно-орієнтованого підходу в умовах існуючих обмежень на загальну вартість портфелю у обчислюваний період.

Виклад основного матеріалу. Економічні методи формування портфелю дозволяють враховувати грошову вартість і прибутковість проектів, ігноруючи стратегічні і технічні достоїнства компонентів портфелю. Вони зручні саме тоді, коли економічні міркування є головними при формуванні портфелю, тобто мають найвищий пріоритет. В цьому випадку для оцінки портфелю використовують відомі фінансові показники: NPV, IRR, DPP, PI [4, 5, 6, 7]. Фінансові підходи до формування портфелю проектів є найпопулярнішими, але, як правило, дають сумнівні результати у довгостроковому періоді. З іншого боку, бізнес-структури, що менше уваги приділяють фінансовим підходам і більше концентруються на стратегічних методах, отримують кращі портфельні результати, ніж фірми, що використовують тільки фінансові методи.

Стратегічне управління портфелем проектів – це безперервний процес створення та оцінки портфелю стратегічних ініціатив, призначених для досягнення стійких результатів і переваг організації на ринку [11, 12]. Формуванням стратегічного портфелю проектів в значній мірі управляє всім бізнесом. Ділова стратегія вирішує розподіл ресурсів по проектах всіх категорій, коли стратегічні погляди переважають над рішенням швидко заробити на нових продуктах. Управління стратегічним портфелем передбачає забезпечення постійного перегляду проектів і програм з метою встановлення пріоритетів при розподілі ресурсів і відповідності портфелю стратегії розвитку. При цьому, основне завдання полягає в тім, щоб здійснювати управління портфелем поряд з постійним розвитком організації для отримання максимальної цінності від інвестицій.

Стратегічні цілі підприємства та портфель його ініціатив нерозривно зв'язані між собою і впливають один на одного. Визначення стратегічних напрямків розвитку організації слугує фундаментом для подальшого створення портфелю ініціатив. Результати та переваги, отримані завдяки реалізації цих ініціатив, сприяють здійсненню стратегії і дозволяють оцінити ефективність стратегії та ініціатив у створенні цінності для підприємства. Найчастіше модель ранжування проектів-претендентів до портфелю – це однорівневий процес. Якщо один або декілька критеріїв складаються з підкритеріїв, які комбінуються для набуття загального значення основних критеріїв, то таке комбінування повинне виконуватися за межами моделі. Аналітичний ієрархічний процес, навпаки, включає засоби комбінування підкритеріїв в явному вигляді [12]. Таким чином процедура використовує ієрархію, де кожен критерій підрозділяється на підкритерії, що дозволяє знаходити причинно-наслідкові зв'язки між цілями і критеріями. Структурна схема методів ранжування проектів-претендентів до портфелю надана на рис. 1.

Отже, всі алгоритми ранжування компонентів портфелю діляться на дві групи: ієрархічні та неієрархічні. Перші дозволяють зробити не просто розбиття цілей, а побудувати ієрархію. Результатом цієї роботи, як правило, є дерево цілей, на основі якого, користувач може сам вибрати бажане розбиття. По своєму підходу, всі алгоритми ієрархічного ранжування також діляться на два типи: з одиночним зв'язком і з повними зв'язками. Ієрархічний алгоритм передбачає проведення аналізу і ухвалення управлінських рішень на всіх рівнях управління. Сукупна оцінка служить мірилом достоїнств проекту: чим вона вища, тим більше позитивних якостей має проект.



Рис. 1. Методи ранжування проектів-претендентів до портфелю

Модель ранжування проектів може бути спеціально розроблена під будь-яку конкретну стратегію. Оскільки такі моделі покликані допомогти організації максимізувати цінність вибраного портфелю проектів, потрібно розуміти які цілі компанії підтримує кожен конкретний проект. Одна з основних причин невдалого вживання моделей ранжування – конструювання таких моделей на основі неадекватних критеріїв. Аби приймати якісніші рішення, необхідно також спиратися на ретроспективну інформацію – відомості про прийняті у минулому рішення по відборі і реалізації портфелю проектів. За наявності такої інформації стає можливим вироблення адекватних критеріїв відбору та ранжування проектів. Отже, ключ до успішного вживання моделей ранжування полягає в складанні належного списку критеріїв оцінки компонентів портфелю, який відображатиме ціннісні пріоритети компанії. Проблема часто полягає в подоланні спокуси розробити детальний і, як наслідок, громіздкий список критеріїв, який стає некерованим. Звуження простору критеріїв до декількох життєво важливих, таких, що дійсно мають значення, відповідальне та неоднозначне завдання. Аби побудувати ціннісно-орієнтовану модель формування портфелю розвитку організації потрібно послідовно пройти певні кроки формування моделі цінності (рис. 2) та постійно відстежувати зміни, що відбуваються у організації:

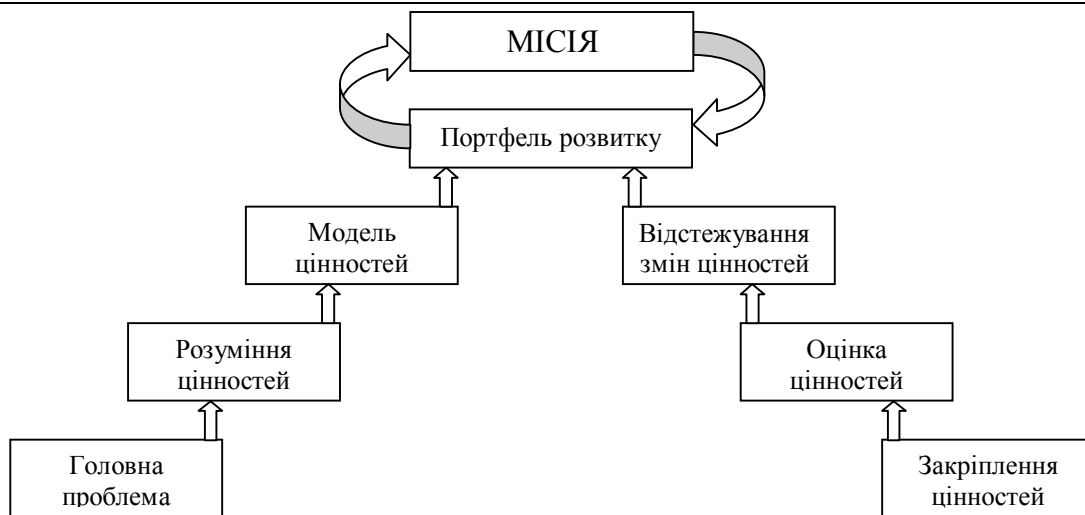


Рис. 2 Модель ціннісно-орієнтованого формування портфелю розвитку

Для портфелю розвитку організації необхідно визначити багатокритеріальну модель формування портфелю проектів, яка буде враховувати міру відповідності портфелю обраним цінностям [5]. Загальна задача потребує визначити для будь-якого елемента $x \in L_a$ та підмножини $S \subset L_b$ деяку функцію $w_{x,S} : S \rightarrow [0,1]$, таку що буде відображати властивості функцій пріоритетів w_x на рівнях L_k , для $k = a, \dots, b-1$.

За допомогою списку критеріїв модель цінностей дозволяє привласнити кожному з проектів-претендентів певні оцінки, що є мірилом достоїнств цього проекту. Вища оцінка відповідає проекту з найвищою цінністю. Організацію як систему з головною метою B і множиною основних видів дій L_h можна представити як ієрархію із максимальним елементом b і нижнім рівнем L_h . Пріоритет елементів дозволяє визначити цільову функцію, яку потім слід максимізувати, а побудовані ієрархії дозволяють отримати інформацію, щодо зв'язків по типу «вхід-вихід».

Для того, аби належним чином представити цілі портфелю розвитку організації необхідно, щоб менеджери експерти чітко представляли повний набір всіх його переваг, а також допустимий діапазон значень вибраних цілей. Якщо цінності організації задані певним набором критеріїв $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$, то потрібно побудувати комплексний критерій, такий, що буде адекватно відображати досягнення поставленої мети. Тоді математична постановка задачі має вигляд:

$$f(x) = \sum_i v_i x_i \rightarrow \max \quad (1)$$

$$j(x) = \sum_j a_j x_j \leq C \quad (2)$$

$$x_i \in \{0,1\}, \quad i = \overline{1,n} \quad (3)$$

Де n кількість проектів-претендентів до портфелю, кожен з яких характеризується витратами c_i на реалізацію і майбутньою цінністю від реалізації проекту v_i . Задача полягає у виборі портфелю проектів з максимальною сумарною цінністю при заданому обмеженні C на загальну вартість портфелю.

Формально завдання зводиться до класичної задачі про рюкзак, яка відома вже давно [9]. Різні узагальнення цієї задачі пов'язані з врахуванням обмежень на сумісність проектів, з врахуванням ризиків або обмежень на число проектів [2, 3]. Якщо для рюкзака існує лише одне обмеження, то задача називається одновимірною, якщо більше – то багатовимірною.

Алгоритми рішення цієї задачі можна відповідно розділити на два типи: точні (повний перебір, метод гілок і границь, динамічне програмування), і наближені (економні алгоритми). При розгляді цієї задачі, особа, що приймає рішення, має обирати на одну із наступних альтернатив: або обрати швидкий алгоритм, але він не завжди вирішує задачу найкраще, або вибрати точний алгоритм, який не завжди може виявитися працездатним для великої кількості показників. Один із методів перебір всіх варіантів задачі – малоефективний, але точний алгоритм. Метод гілок і границь, по суті, є скороченням повного перебору з відсіканням свідомо «поганих» рішень. Динамічне програмування – це алгоритм, заснований на принципі оптимальності Беллмана [13, 15]. Економний алгоритм – це метод, заснований на знаходженні відносно прийняттого і «дешевого» рішення [9].

В разі вживання економного алгоритму треба відсортувати компоненти портфелю: по убутанню відносної цінності кожного проекту:

$$P_i = \frac{V_i}{C_i} \quad (4)$$

де P_i – відносна вартість одиниці цінності i -го проекту, V_i – цінність i -го проекту, C_i – вартість i -го проекту.

Економний алгоритм не дає оптимального рішення, тому він є наближеним алгоритмом [7], але якість рішення можна поліпшити, якщо порівняти отриманий результат з максимальним коефіцієнтом цінності P_{\max} .

Для того, аби в математичному вигляді належним чином представити цілі портфеля розвитку організації необхідно, щоб менеджери експерти чітко представляли повний набір всіх його майбутніх переваг, а також допустимий діапазон значень вибраних цілей [1, 3]. Застосовуючи методи відбору, балансування та оцінки проектів портфеля, а також переглядаючи і удосконалюючи стратегію, портфельне управління допомагає розв'язувати суперечливі вимоги, що дозволять максимально збільшити сукупну цінність підприємства.

Розглянемо приклад відбору шести проектів до портфелю розвитку організації з орієнтацією на збільшення цінності компанії. Ми хочемо збудувати чергу проектів відповідно до їх достоїнств з точки зору вартості, вірогідності успіху і цінності, причому критерій цінності для даного прикладу має удвічі більшу вагу, чим критерії вірогідності успіху і вартості. В нашому випадку проекти будуть оцінюватися по трьох критеріях: цінності, вірогідності успіху і вартості, характеристики яких надано у табл. 1.

Таблиця 1

Приклад характеристик проектів-претендентів до портфелю

Проекти	Середня оцінка по критерію цінності	Середня оцінка вірогідності успіху	Сумарні витрати на проект (т. грн.)
Проект 1	9	0,8	52
Проект 2	5	0,5	75
Проект 3	4	0,75	101
Проект 4	8	0,5	30
Проект 5	2	0,98	44
Проект 6	6	0,75	12

Далі має бути розроблена матриця, елементи якої є відносною перевагою (ваговим коефіцієнтом) кожного критерію даного рівня в порівнянні з іншими критеріями того ж рівня. Записи в матриці (на пересіченні рядка і стовпця матриці) показують міру переваги чинника в даному рядку над критерієм в даному стовпці. Використовуючи дані з таблиці 1, сформуємо порівняльну матрицю першого рівня. У цій матриці будуть розташовані загальна оцінка і три чинники: вартість, вірогідність успіху і віддача (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця відносної переваги кожного критерію проектів-претендентів до портфелю

	Фактори	Цінність	Вартість	Вірогідність успіху
1	Цінність	1	2	2
2	Вартість	0,5	1	1
3	Вірогідність успіху	0,5	1	1
		2	4	4

Діагональні елементи матриці, як відомо, будуть дорівнювати одиниці, а елементи, розташовані під діагоналлю, є зворотними по відношенню до відповідних елементів, розташованих над діагоналлю. Таким чином, в рядку «цінність» елемент, що знаходиться на пересіченні цього рядка і стовпця «вартість», дорівнює двом, тобто перевага критерію «цінність» удвічі вища, ніж критерію «вартість». Далі створюється нова матриця (табл. 3), елементи якої – це елементи попередньої матриці, розділені на суму значень відповідних стовпців. Як бачимо, процес розробки кожної матриці може бути досить трудомістким. Для спрощення розрахунків можна використати відповідні електронні таблиці EXCEL. Ми отримали певні значення, з якими можна продовжувати працювати. У рядку «середні значення» наведені вагові коефіцієнти, які будуть використовуватися при множенні результатів аналогічних операцій на значення вартості, вірогідності успіху і цінності для кожного проекту.

Таблиця 3

Матриця нормованих значень переваги кожного критерію проектів

	Фактори	Цінність	Вартість	Вірогідність успіху	Середнє значення
1	Цінність	0,5	0,5	0,5	0,5
2	Вартість	0,25	0,25	0,25	0,25
3	Вірогідність успіху	0,25	0,25	0,25	0,25

У таблиці 4 приведена матриця переваг для організаційної цінності кожного проекту. Оскільки чим більше цінність проекту тим більш він вважається кращим, то значення для рядка ділитися на значення для

стовпця, формуючи коефіцієнти, що відображають перевагу чинника для рядка над чинником для стовпця. Подібна матриця переваг розробляється для кожного чинника всіх проектів.

Таблиця 4

Матриця відносних переваг показника проектів «Організаційна цінність»

	Організаційна цінність	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5	Проект 6
Проект 1	9	1	0,6	0,4	0,9	0,2	0,7
Проект 2	5	1,8	1,0	0,8	1,6	0,4	1,2
Проект 3	4	2,3	1,3	1,0	2,0	0,5	1,5
Проект 4	8	1,1	0,6	0,5	1,0	0,3	0,8
Проект 5	2	4,5	2,5	2,0	4,0	1,0	3,0
Проект 6	6	1,5	0,8	0,7	1,3	0,3	1,0

Далі приведена матриця, що показує відносні переваги критерію «вірогідність успіху» для кожного проекту. Оскільки висока вірогідність більш переважна, чим низька, значення вірогідності успіху для рядка діляться на аналогічні значення для стовпця, внаслідок чого виходять значення, що відображають відносну перевагу вірогідності успіху для рядка над вірогідністю для стовпця (табл. 5).

Таблиця 5

Матриця відносних переваг показника проектів «Вірогідність успіху»

	Вірогідність успіху	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5	Проект 6
Проект 1	0,8	1,0	0,6	0,9	0,6	1,2	0,9
Проект 2	0,5	1,6	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5
Проект 3	0,75	1,1	0,7	1,0	0,7	1,3	1,0
Проект 4	0,5	1,6	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5
Проект 5	0,98	0,8	0,5	0,8	0,5	1,0	0,8
Проект 6	0,75	1,1	0,7	1,0	0,7	1,3	1,0

Слід зазначити, якщо один із чинників негативно впливає на обраний компонент портфелю (висока вартість менш переважна, чим низька), то значення вартості для стовпця діляться на аналогічні значення для рядка, в результаті у кожній комірці з'являється значення, що відображає перевагу значення стовпця над значенням рядка для кожного проекту. Нижче наводиться матриця відносних переваг показника вартості для кожного із проектів (табл. 6).

Таблиця 6

Матриця відносних переваг показника проектів «Вартість проекту»

	Вартість проекту	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5	Проект 6
Проект 1	52	1,0	1,4	1,9	0,6	0,8	0,2
Проект 2	75	0,7	1,0	1,3	0,4	0,6	0,2
Проект 3	101	0,5	0,7	1,0	0,3	0,4	0,1
Проект 4	30	1,7	2,5	3,4	1,0	1,5	0,4
Проект 5	44	1,2	1,7	2,3	0,7	1,0	0,3
Проект 6	12	4,3	6,3	8,4	2,5	3,7	1,0

Як і в разі однієї матриці переваг по трьох критеріях, тепер кожне значення кожного стовпця у всіх трьох таблицях діляться на суму значень відповідного стовпця і обчислюються середні значення по рядках. У таблиці. 7 показані середні значення рядків, коефіцієнти ваги кожного чинника, розраховані на першому кроці (у верхньому рядку таблиці), і остаточні оцінки для кожного проекту в крайньому правому стовпці. Ці оцінки знаходять шляхом множення значень верхнього рядка таблиці (рядок ваги) на рядок, відповідний даному проекту, і подальшого підсумовування. Потім проекти впорядковані в порядку убудування загальної оцінки.

Таблиця 7

Проміжна матриця ранжування проектів для портфелю розвитку

	Цінність	Вартість	Вірогідність успіху	Середнє значення
	0,5	0,25	0,25	
1	0,08	0,11	0,27	0,14
2	0,14	0,07	0,31	0,17
3	0,17	0,05	0,28	0,17
4	0,09	0,18	0,28	0,16
5	1,03	0,12	0,28	0,62
6	0,11	0,46	0,28	0,24

Остаточній результат ранжування проектів, отриманий за допомогою аналітичного ієрархічного

Результат ранжування проектів для портфеля розвитку

	Цінність	Вартість	Вірогідність успіху	Загальний бал
Вага фактору	0,5	0,25	0,25	
Проект 5	1,03	0,12	0,28	0,62
Проект 6	0,11	0,46	0,28	0,24
Проект 2	0,14	0,07	0,31	0,17
Проект 3	0,17	0,05	0,28	0,17
Проект 4	0,09	0,18	0,28	0,16
Проект 1	0,08	0,11	0,27	0,14

Таким чином, якщо існує обмеження на вартість портфеля 300 тис. грн. на даний період, то проект 1 до портфеля не попадає. Хоча можуть бути рекомендовані інші варіанти пошуку коштів. Запропонований алгоритм допомагає сфокусуватися на певних аспектах розвитку організації, розглядаючи один або два критерії за раз.

Висновки. Задача формування портфелю розвитку слабо формалізована і тісно пов'язана із місією та баченням довгострокових цілей організації. Для формування портфеля розвитку організації застосовано ціннісно-орієнтований підхід, який надає можливість підійти до рішення цієї задачі як із суб'єктивними, так і об'єктивними пріоритетами. Суб'єктивні аспекти можуть включати якісні визначення, засновані на інтуїтивних відчуттях менеджерів. Об'єктивні аспекти формування портфелю засновані на кількісних критеріях та аналітичних розрахунках, наприклад. Отже, в разі одночасного вживання об'єктивних і суб'єктивних критеріїв метод виявляється досить гнучким для постійного корегування та збереження відповідності обраному вектору розвитку. За допомогою списку критеріїв кожна організація може побудувати унікальну модель цінностей, що дозволяє привласнити компонентам портфелю певні оцінки, які є мірилом їх достоїнств. Системне ієрархічне ранжування компонентів портфелю, що спирається на різні точки зору, поєднує простоту і ефективність знаходження рішення. Таким чином, запропонований метод дозволяє сформувати такий портфель проектів, який задовольнятиме не лише довгостроковим цілям організації, але і відповідає визначеним кількісним показникам діяльності організації, обраним на основі унікальної моделі цінностей організації.

Література

1. Аньшин В.М. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности / В. М. Аньшин, И. В. Демкин, И. М. Никонов, И. Н. Царьков – М. : МАТИ. 2007. – 117 с.
2. Бурков В.Н. Теория активных систем : состояние и перспективы. / В.Н. Бурков, Новиков Д.А.. – М. : Синтег, 1999. – 128 с.
3. Бурков В.Н. Модели и методы мультипроектного управления / В.Н. Бурков, О.Ф. Квон, Л.А. Цитович. – М. : ИПУ РАН, 1997. – 63 с.
4. Верба В. А. Проектный анализ : підручник / В. А. Верба, О. А. Загородніх. – К. : Академія, 2000. – 322 с.
5. Матвеев А. А. Модели и методы управления портфелями проектов. / А. А. Матвеев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков. – М. : ПМСОФТ, 2003. – 208 с.
6. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник / под ред. М. Л. Разу. – М.: КНОРУС, 2006. – 768 с.
7. Кендал И. Современные методы управления портфелями проектов и офис управления проектами. Максимизация ROI. / И. Кендал, К. Роллинз; пер. с англ. – М. : ПМСОФТ, 2004. – 576 с.
8. Леонтьев Д.А. Ценность как междисциплинарное понятие. Опыт многомерной реконструкции / Д. А. Леонтьев / Вопросы философии. – М. 1996, № 4 С.15-22.
9. Окулов, С. М. Программирование в алгоритмах / С.М. Окулов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 341 с.
10. Руководство по управлению инновационными проектами и программами: Т. 1, Версия 1.2 / пер. с англ. под ред. проф. Бушуева С. Д. – К. : Науковий світ, 2009. – 173 с.
11. Репин В.В. Два понимания системного подхода к управлению предприятием / В.В. Репин. – М. : ЮНИТИ, 2003. – 199 с.
12. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие. / Ю. П. Сурмин. – К.: МАУП, 2003. – 240 с.
13. Сигал И.Х. Введение в прикладное дискретное программирование. / И. Х. Сигал, А.П. Иванова. – М.: Физматлит, 2007. – 304 с.
14. Управление инновационными проектами и программами на основе системы знаний Р2М: Монография // Ярошенко Ф.А., Бушуев С.Д., Танака Х. – К. : Саммит-Книга, 2012. – 272 с.
15. Хаггари, Р. Дискретная математика для программистов / Р. Хаггари. пер. с англ. – М. : Техносфера, 2003. – 320 с.

Надійшла 15.1.2013 р.

Статтю представляє: к.т.н. Малий В.В.

МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИБОРІ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА СУДНОРЕМОНТНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Розглянуті моделі прийняття рішень при виборі системи доставки вантажів на судноремонтному підприємстві. Наведені розрахунки використання розглянутих моделей та представлена їх програмна реалізація.

Ключові слова: прийняття рішень, модель, особа, що приймає рішення

The models of decision making in the selection of cargo delivery to the shipyards. These calculations use these models and their software implementation is presented.

Keywords: decision, decision-making model, the decision of person.

Вступ

Керування має місце у різноманітних сферах. Хоча воно й носить різноманітний характер залежно від об'єктів, органів, засобів та методів керування, проте його організація будується на деякому базисі, обумовленому спільністю використовуваних методів і прийомів керування, спільністю функцій і змістом управлінського циклу, способів прийняття рішень (ПР) та інш.

Збільшення обсягів інвестицій для виконання судноремонтних замовлень вимагають детального прорахунку витрат, мінімізації ризиків. Висока складність процесів судноремонту вимагає обробки дуже великого обсягу інформації, ретельного планування по строках та використовуваних ресурсах.

У процесі прийняття управлінських рішень доводиться враховувати велику кількість показників, критеріїв, факторів, що впливають на поставлену ціль. Практично в будь-яких управлінських завданнях існують різного роду невизначеності, пов'язані із суперечливістю критеріїв та неповнотою знань про проблему.

При прийнятті рішень за концепцією системного аналізу всі рішення зводяться до вибору оптимальної альтернативи серед безлічі припустимих засобів досягнення поставленої мети. Дійсно, такий підхід часто суб'єктивно сприймається як мета (тобто ціль полягає в оптимізації системи за заданим критерієм).

Однак у реальних складних системах таких цілей, як правило, виявляється декілька. Можуть переслідуватися одночасно кілька цілей, що часто є суперечливими. При проектуванні складних систем, таких, як системи доставки вантажів, неможливо визначити одну ціль чи навіть установити тверду ієрархію цілей. Тому замість твердої моделі необхідно використовувати «м'яку» модель, основна ідея якої полягає в «компромисі» між різними цілями, при пошуку рішень, що якоюсь мірою задовольняли б усім висунутим вимогам (а виходить, цілком не задовольняли б персонально ні однієї з них). Цей підхід виник від розуміння того, що в багатьох випадках не вистачає інформації для лінійного ранжирування рішень і можна лише здійснити групове ранжирування.

Постановка завдання

Метою статті є розглянути моделі ухвалення рішення при виборі системи доставки вантажів при наявності декількох критеріїв на основі нечітких множин. Особа, що приймає рішення (ОПР), далеко не завжди може об'єктивно оцінити рівень якості отриманого рішення, а тим більше вибрати з декількох рішень найкраще. Вибір гарного варіанта можливий тільки в тих випадках, коли використані коректна модель і алгоритм вибору.[1,2].

Нехай задано множина можливих варіантів доставки X :

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$$

Кожен варіант характеризується множиною параметрів: оцінки якості Y :

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n\}$$

Між кожним членом множини X і кожним членом множини Y має місце нечітке відношення, позначене через μ_{ij} чи μ_{ij} . Іншими словами, μ_{ij} відображає рівень відповідності i -го варіанта доставки вимогам по j -ому параметру ($\mu_{ij} \in [0,1]$; $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$). Якщо зібрати разом усі нечіткі відносини між x_i й y_j , то одержимо матрицю нечітких відносин R розміром

$$R = \{\mu_{ij} | i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$$

Потрібно вибрати кращий варіант x^* з множини X . [3,4].

Основний розділ

Задачу вибору системи доставки вантажів представимо наступним чином:

$$x^* = \text{opt}(X, Y, R, M) \quad (1)$$

де M – використовувана модель рішення – задачі, обрана ОПР. Залежно від моделі результати рішення поставленої задачі можуть бути різними при тих самих вихідних даних.

Розглянемо моделі ухвалення рішення при виборі системи доставки вантажів. Процес прийняття рішень найбільше часто характеризується однієї з наступних ситуацій:

1) ОПР не має інформацію про обмеження на значення параметрів і інформацією про рівень їхньої важливості. Застосовується модель максимінної згортки для рішення задачі;

2) ОПР вибирає варіант, що забезпечує значення всіх параметрів не гірше необхідних. Ця ситуація

відповідає моделі абсолютного рішення;

3) ОПР може вказати бажані обмеження по деяких основних параметрах. Це модель основного параметра;

4) ОПР здатна ранжирувати параметри за рівнем їхньої важливості і визначити частку впливу кожного параметра на загальне рішення. У даній ситуації використовується модель компромісного рішення;

5) остання ситуація характеризується як сполучення другої і четвертої ситуації. ОПР шукає оптимальне рішення на основі компромісної моделі, при цьому враховує деяке обмеження на значення параметрів. Ця модель називається моделлю еталонного порівняння.[5].

Розглянемо ці моделі більш докладно та реалізуємо розрахунки у вигляді програмних модулів.

Значення варіантів за параметрами:

Варіант доставки	Строк доставки вантажу, y_1	Вартість доставки вантажу, y_2	Збереження вантажу при доставці, y_3
Варіант X1	0.62	0.70	0.80
Варіант X2	0.50	0.60	0.70
Варіант X3	0.90	0.80	0.50
Варіант X4	0.80	0.70	0.60
Варіант X5	0.60	0.80	0.50
Варіант X6	0.70	0.50	0.80
Варіант X7	0.50	0.60	0.90
Варіант X8	0.40	0.90	0.90

Оберіть модель обчислення:

- Вирішити задачу за моделлю максимінної згортки
- Вирішити задачу за моделлю абсолютного рішення
- Вирішити задачу за моделлю основного параметру
- Вирішити задачу за моделлю компромісного параметру
- Вирішити задачу за моделлю еталонного порівняння
- Вирішити задачу за всіма моделями

Обчислити

Рис. 1 Форма програми для вибору моделі

На рис. 1 представлена форма для вибору моделі розрахунку для восьми варіантів доставки за трьома параметрами.

За розрахунками по моделі максимінної згортки оптимальним вважається варіант, що має мінімальні недоліки по всіх параметрах. Дана модель заснована на операції перетинання нечітких множин:

$$D = y_1 \mathbf{I} \ y_2 \mathbf{I} \ \dots \ \mathbf{I} \ y_m \quad (2)$$

де D – кінцева оцінка якості варіанта, визначена операцією перетинання часткових параметрів $y_j, j=1, \dots, m$

Операція перетинання нечітких множин може бути реалізована різними способами. Звичайно цієї операції відповідає взяття мінімуму. Така модель є реалізацією песимістичного підходу, що ігнорує гарні оцінки варіантів. Варіант, що має високі оцінки по деяких параметрах і низькій оцінці хоча б тільки по одному параметру, оцінюється як варіант із низьким рівнем якості в остаточному підсумку. Але є її переваги: модель і алгоритм її рішення досить прості; при використанні моделі потрібно мінімальний обсяг вхідної інформації; використання даної моделі завжди дає рішення.[5]. Результати розрахунку за цією моделлю представлені на рис. 2.

Обчислення моделлю максимінної згортки

Значення варіантів за параметрами:

Варіант доставки	Строк доставки вантажу, y_1	Вартість доставки вантажу, y_2	Збереження вантажу при доставці, y_3	Кінцеві оцінки якості варіантів
Варіант X1	0.62	0.7	0.8	0.62
Варіант X2	0.5	0.6	0.7	0.5
Варіант X3	0.9	0.8	0.5	0.5
Варіант X4	0.8	0.7	0.6	0.6
Варіант X5	0.6	0.8	0.5	0.5
Варіант X6	0.7	0.5	0.8	0.5
Варіант X7	0.5	0.6	0.9	0.5
Варіант X8	0.4	0.9	0.9	0.4

Рис. 2 Форма з розрахунками за моделлю максимальної згортки

При застосуванні моделі абсолютного рішення ОПР, задає мінімальне припустиме значення Π_j^{\min} для кожного параметра Y_j .

Недоліками моделі є не врахування рівних важливостей всіх параметрів. Можливий випадок, коли варіант задовольняє обмеженням по важливих параметрах, але не включається до множини X^* через те, що не виконується обмеження по менш важливому параметру. Результати застосування моделі на рис. 3.

Обчислення за моделлю абсолютного рішення

Значення варіантів за параметрами:

Варіант доставки	Строк доставки вантажу, у1	Вартість доставки вантажу, у2	Збереження вантажу при доставці, у3
Варіант X1	0.62	0.7	0.8
Варіант X2	0.5	0.6	0.7
Варіант X3	0.9	0.8	0.5
Варіант X4	0.8	0.7	0.6
Варіант X5	0.6	0.8	0.5
Варіант X6	0.7	0.5	0.8
Варіант X7	0.5	0.6	0.9
Варіант X8	0.4	0.9	0.9
Мінімально допустимі значення параметрів	0.60	0.50	0.60

Розрахувати

Рис. 3 Форма програми з результатами обчислення за моделлю абсолютного рішення

Рішення задачі при використанні моделі основного параметра проводиться по кроках. На кожному кроці обирається основний параметр, і пошук оптимального рішення ведеться тільки по основному параметру. Результат даного кроку (множина рішень) є множиною можливих рішень для наступного кроку.

Задача приймає наступний вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_0^* = \{x_k \mid x_k \in X, k = 1, \dots, n\} \\ X_j^* = \{x_k \mid x_k \in X_{j-1}^*; m_{kj} \geq m_j^{\min}\} \\ j = 1, \dots, m. \end{array} \right. \quad (3)$$

Перевагами моделі (у порівнянні з двома попередніми моделями) є врахування рівня важливості кожного з параметрів; ОПР має можливість коректувати обмеження на значення параметрів безпосередньо на кожному кроці, що прискорює процес рішення задачі. Однак, хоча в модель включений апарат, що враховує рівень важливості параметрів, модель не може давати найкраще рішення, якщо кінцева множина рішень X_m^* містить кілька варіантів, при цьому жоден з них не може бути оцінений як кращий. Форма програми з результатами представлена на рис. 4.

Обчислення за моделлю основного параметра

Значення варіантів за параметрами:

Варіант доставки	Строк доставки вантажу, у1	Вартість доставки вантажу, у2	Збереження вантажу при доставці, у3
Варіант X1	0.62	0.7	0.8
Варіант X2	0.5	0.6	0.7
Варіант X3	0.9	0.8	0.5
Варіант X4	0.8	0.7	0.6
Варіант X5	0.6	0.8	0.5
Варіант X6	0.7	0.5	0.8
Варіант X7	0.5	0.6	0.9
Варіант X8	0.4	0.9	0.9
Мінімально допустимі значення параметрів	0.60	0.50	0.60
Пріоритети параметрів	1	2	3

Розрахувати

Рис. 4 Форма програми з результатами обчислення за моделлю основного параметра

Якщо існує неможливість одночасно задовольнити декільком, найчастіше суперечливим вимогам (частковим критеріям), при рішенні задачі прийняття рішень необхідно використовувати компромісний чи інтегральний параметр, одержаний в результаті згорання часткових параметрів. До переваг моделі відносять:

- модель не тільки враховує рівень важливості параметрів, але і частку впливу кожного параметра на загальне рішення, що усуває недоліки моделі основного параметра;
- модель завжди забезпечує наявність рішення задачі.

Але високе значення інтегрального параметра не гарантує того, що варіант цілком відповідає усім висунутим вимогам. Низьке значення одного параметра (нижче, ніж потрібно при використанні моделі абсолютного рішення) може бути компенсовано високим значенням іншого значимого параметра. Програма форма з результатами розрахунків для моделі з інтегральним параметром представлена на рис. 5.

Обчислення за моделлю компромісного параметра

Значення варіантів за параметрами:

Варіант доставки	Строк доставки вантажу, y_1	Вартість доставки вантажу, y_2	Збереження вантажу при доставці, y_3	Значення інтегрального параметра, F
Варіант X1	0.62	0.7	0.8	0.68
Варіант X2	0.5	0.6	0.7	0.57
Варіант X3	0.9	0.8	0.5	0.79
Варіант X4	0.8	0.7	0.6	0.73
Варіант X5	0.6	0.8	0.5	0.64
Варіант X6	0.7	0.5	0.8	0.66
Варіант X7	0.5	0.6	0.9	0.61
Варіант X8	0.4	0.9	0.9	0.65
Рівень важливості параметрів	0.50	0.30	0.20	
Розрахувати				

Рис. 5 Форма програми з результатами обчислення за моделлю компромісного параметра

Модель еталонного порівняння розроблена для усунення недоліків моделей, розглянутих вище. Сутність моделі полягає в наступному: будується еталонний варіант доставки вантажів x_0 . Параметри цього варіанта приймають мінімальні припустимі значення $\mu_0, j=1, \dots, m$. Кожен варіант множини X порівнюється з еталоном x_0 . Якщо якість у варіанта x_i не гірше, ніж в еталона x_0 по всіх параметрах, то варіант x_i включається в множину рішень і для нього розраховується інтегральний параметр якості. Для еталонного варіанта інтегральний параметр приймає нульове значення $f_0=0$. Оптимальне рішення – варіант із максимальним значенням інтегрального параметра f_{\max} . Але для такої моделі потрібно більше інформації (у порівнянні з іншими моделями) від ОПР.[1,5]. Для представлення результатів обчислення за моделлю еталонного порівняння розроблена форма, представлена на рис. 6.

Обчислення за моделлю еталонного порівняння

Значення варіантів за параметрами:

Варіант доставки	Строк доставки вантажу, y_1	Вартість доставки вантажу, y_2	Збереження вантажу при доставці, y_3	Значення інтегрального параметра, F
Варіант X1	0.62	0.7	0.8	0.11
Варіант X2	0.5	0.6	0.7	---
Варіант X3	0.9	0.8	0.5	---
Варіант X4	0.8	0.7	0.6	0.16
Варіант X5	0.6	0.8	0.5	---
Варіант X6	0.7	0.5	0.8	0.09
Варіант X7	0.5	0.6	0.9	---
Варіант X8	0.4	0.9	0.9	---
Рівень важливості параметрів	0.50	0.30	0.20	
Мінімально допустимі значення параметрів	0.60	0.50	0.60	
Розрахувати				

Рис. 6 Форма програми з результатами обчислення за моделлю еталонного порівняння

Проаналізуємо результати розрахунків за розглянутими моделями по перших чотирьох варіантах рішень :

По моделі максимінної згортки визначаються кінцеві оцінки якості варіантів:

варіант 1: $M_D(x_1) = \min(M_{1j}; j=1,2,3) = \min(0,62; 0,70; 0,80) = 0,62$;

варіант 2: $M_D(x_2) = \min(M_{2j}; j=1,2,3) = \min(0,50; 0,60; 0,70) = 0,50$;

варіант 3: $M_D(x_3) = \min(M_{3j}; j=1,2,3) = \min(0,90; 0,80; 0,50) = 0,50$;

варіант 4: $M_D(x_4) = \min(M_{4j}; j=1,2,3) = \min(0,80; 0,70; 0,60) = 0,60$.

Максимальне значення кінцевої оцінки якості варіантів:

$M_D^{\max} = \max\{0,62; 0,50; 0,50; 0,60\} = M_D(x_1) = 0,62$. Результат рішення задачі – перший варіант x_1 .

По моделі абсолютного рішення встановлено наступні мінімальні припустимі значення параметрів:

$\mu_1^{\min}=0,60; \mu_2^{\min}=0,50; \mu_3^{\min}=0,60$;

Результат при перевірці варіантів за розрахунками програмного модуля:

варіант $x_2(0,50; 0,60; 0,70)$ не відповідає вимозі по параметру y_1 .

варіант $x_3(0,90; 0,80; 0,50)$ не відповідає вимозі по параметру y_3 .

Обидва варіанти видаляються із множини рішень.

Результат рішень $X^* = \{x_1, x_4\} = \{ (0,62; 0,70; 0,80), (0,80; 0,70; 0,60) \}$

По параметру y_2 обидва варіанти x_1 і x_4 мають однакоє значення. По інших параметрах y_1 і y_3 у варіантів різні значення. Однак жоден з варіантів не може бути оцінений як більш кращий.

За моделлю основного параметра мінімальні припустимі значення параметрів були встановлені, як у попередній моделі. Крім того, визначено, що найважливіший параметр – термін доставки вантажів y_1 , наступний параметр за рівнем важливості – вартість доставки y_2 . Параметр y_3 – схоронність вантажів при доставці має самий низький рівень важливості.

Крок 1. Оптимізується по параметру y_1 . Варіант x_2 виключається з множини рішень
 $(\mu_{21} = 0,50 < \mu_1^{\min} = 0,60)$.

Результат даного кроку:

$$X_1^* = \{x_1, x_3, x_4\}.$$

Крок 2. Оптимізується по параметру y_2 . Усі три варіанти відповідають вимогам.

$$X_2^* = \{x_1, x_3, x_4\}.$$

Крок 3. Оптимізується по параметру y_3 . Варіант x_3 виключається з множини рішень
 $(\mu_{33} = 0,50 < \mu_1^{\min} = 0,60)$, $X_3^* = \{x_1, x_4\}$.

Дана ситуація аналогічна ситуації, коли застосовується модель абсолютного рішення. Важко дати повну перевагу одному з варіантів x_1 і x_4 .

При рішенні задачі по моделі компромісного параметра визначено рівні важливості трьох параметрів. Після їхньої нормалізації вектор W має наступний вид:

$$W = (0,50; 0,30; 0,20)^T.$$

Обчислюємо значення інтегрального параметра:

$$F = \begin{vmatrix} 0,62 & 0,70 & 0,80 \\ 0,50 & 0,60 & 0,70 \\ 0,90 & 0,80 & 0,50 \\ 0,80 & 0,70 & 0,60 \end{vmatrix} \bullet \begin{vmatrix} 0,50 \\ 0,30 \\ 0,20 \end{vmatrix}$$

або

$$F = \{0,68; 0,57; 0,79; 0,73\}.$$

$$f_{\max} = f_3 = 0,79.$$

Варіант x_3 є оптимальним рішенням задачі по даній моделі, хоча в попередніх моделях він виключається з множини рішень.

При розрахунках по моделі еталонного порівняння щоб не змінювати умови задачі, приймаємо еталонний варіант $x_0 = (0,60; 0,50; 0,60)$ і вектор $W = (0,50; 0,30; 0,20)^T$.

Як у випадку застосування другої і третьої моделей, варіанти x_2 і x_3 , виключаються з множини рішень. Залишаються два варіанти: x_1 і x_4 .

$$X^* = \{x_1, x_4\}.$$

Їхній інтегральний параметр приймає наступні значення:

$$f_1 = (0,62-0,60)*0,50 + (0,70-0,50)*0,30 + (0,80-0,60)*0,20 = 0,11,$$

$$f_4 = (0,80-0,60)*0,50 + (0,70-0,50)*0,30 + (0,60-0,60)*0,20 = 0,16.$$

$$f_{\max} = f_4 = 0,16.$$

Результат рішення задачі – варіант $x_4 = (0,80; 0,70; 0,60)$.

Висновок

Порівняння результатів рішення задачі вибору по розроблених моделях показує, що результати відрізняються, незважаючи на те, що вихідні дані у всіх розрахунках не є суперечливими. Розбіжність результатів пояснюється, з одного боку – різними обсягами використовуваної інформації, а з іншого боку – розходженням підходів до прийняття рішень. При наявності досить повної інформації рекомендується застосовувати модель еталонного порівняння, що дає рішення, більш відповідне вимогам представленої задачі.

Література

1. Аверкин А.Н. Поддержка принятия решений в слабоструктурированных предметных областях. / А.Н. Аверкин, О.П. Кузнецов, А.А. Кулинич, Н.В. Титова // Анализ ситуаций и оценка альтернатив. Теория систем и управления. Вып. 3, 2006. – С.139– 149.

2. Аверкин А.Н. Система поддержки принятия решений на основе нечетких моделей / А.Н. Аверкин, Т.В. Аграфонова, Н.В. Титова // Известия РАН. Теория и Системы Управления. – 2009. – № 1 – С.99-104.

3. Коваленко И.И. Системный анализ задач судового корпусостроения. / С.В. Драган, Н.Я. Сагань // Монография. – Николаев: el.Talisman, 2010-176 с.

4. Терещенкова О.В. Использование системы поддержки принятия решений в управлении судоремонтным предприятием / О.В. Терещенкова // Науковий вісник Херсонського державного морського інституту, 2010. – № 2 (3). – С.258– 264.

5. Количественные методы в экономических исследованиях / Под ред. М.В. Грачевой и др. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 791 с.

Надійшла 12.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Букетов А.В.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕЄСТРАЦІЇ ПУЛЬСОВОЇ ХВИЛІ

Розглянуто методи реєстрації пульсової хвилі, подано коротку характеристику кожного методу, їх основні переваги та недоліки; визначено оптимальний метод реєстрації пульсограма відповідно до сучасних вимог реєстрації пульсових хвиль

Ключові слова: пульсова хвиля, пульсограма, сфігмограма, реограма, фотоплетизмограма

The methods of registration the pulse wave considered, filed a brief description of each method, their advantages and disadvantages; determined the optimal method for pulsogram detecting accordance with modern requirements for registration pulse waves

Keywords: pulse wave pulsohrama, sfihmohrama, reohrama, fotopletyzmohrama.

Актуальною проблемою сучасної медицини є захворювання серцево-судинної системи (ССС). Арсенал сучасної діагностичної апаратури представлений випробуваними на практиці методами об'єктивізації судинної патології: реографія (РЕГ), сфігмографія, ехокардіографія (ЕхоКГ), оптична та комп'ютерна капіляроскопія, радіонуклідна діагностика, ангіографія, ультразвукові методи діагностики, лазерна доплерографія, комп'ютерна томографія (КТ), МРТ в судинному режимі (МРА), перфузійна МРТ тощо. Але найінформативнішим методом моніторингу стану організму, експрес- та функціональної діагностики серцево-судинної системи залишається реєстрація пульсової хвилі, про що свідчить ряд дисертацій та патентних робіт (Баєвський Р.Б., Бороноев В.В., Савицький М.М., Терехова Л.Г., Шарпан О.Б., Тимчик Г.С., Янковенко О.Д., Файнзільберг Л.С., Павлов С.В., Кожемяко В.Г., Сторчун Ю.С., Волошина О.А., Волков В.И., Колпаков Є.В., Бакус І.М., Затейщикова А.А., Регіпер С.А., Педлі Т., Asmar R., серед молодих науковців України – Мосійчук В.С., Мужичька Н.В., Колесникова, Козловська Т.І. та ін).

На практиці широко застосовуються методи, що дозволяють якісно та кількісно оцінити параметри кровоносної системи. Найпоширенішими серед них є електроконтактний, механічний та оптичний методи. Проте не кожен з них є достатньо інформативним, точним, безпечним та економічним.

Метою дослідження є аналіз методів реєстрації пульсової хвилі, визначення й обґрунтування їх основних переваг та недоліків, вибір оптимального методу.

Сучасні вимоги до реєстрації пульсової хвилі. Реєстрація пульсового сигналу з метою отримання інформації про розповсюдження пульсової хвилі, яку в подальшому можна використати безпосередньо для оцінки стану ССС, передбачає отримання пульсограма, що міститиме мінімум сторонніх компонент, спричинених завадами та артефактами насамперед. Методи та засоби, що використовуються при цьому, є надзвичайно різними, як з точки зору точності вимірювань, так і з точки зору наочності отриманих результатів, зручності у використанні технічних засобів та медичних приладів, комфортності досліджень для пацієнта і для лікаря.

Широкий вибір пристроїв та методик, запропонованих різними авторами для вимірювання параметрів пульсової хвилі, не завжди задовольняє сучасним вимогам до реєстрації медичних сигналів і пульсової хвилі, зокрема. *Первинна вимога* до процесу реєстрації пульсового сигналу – це вибір методу, що буде фізіологічним, без ризику для пацієнта, – таким, що не заснований на хірургічному втручанні чи оклюзії судин. Такі методи використовуються у клінічній практиці обмежено і лише у тих випадках, коли ризик, пов'язаний з процедурами зондування серця, є виправданим необхідністю отримання діагностичної інформації.

Наступний фактор, який можна вважати вирішальним для вибору методу реєстрації, – це точність вимірювань. При цьому похибка, що може супроводжувати процес реєстрації, як правило, є комплексною, що характерно для аналізу більшості медичних сигналів. Пояснюється це наявністю завад, які завжди супроводжують процес реєстрації медичних сигналів; під їх впливом на пульсограмах з'являються сторонні компоненти.

Важливим фактором при виборі методу реєстрації пульсового сигналу є інформативність цього методу. Нажаль, більшість методів, поширених сьогодні в медичній практиці, орієнтовані на вимірювання одного або декількох параметрів пульсового сигналу [1 – 3] уже при наявності патології ССС. Цього явно недостатньо, зважаючи на весь той арсенал характеристик, які можна отримати при аналізі пульсової хвилі ще до початку хвороби або наявності видимих ознак патології.

Окрім наведених вище вимог першочергового значення, *важливими* є і такі фактори як зручність та наочність представлення отриманих результатів, можливість збереження результатів проведеного дослідження та вибір деякого розповсюдженого стандарту кодування даних для зберігання і можливості перегляду результатів незалежно від місця проведення реєстрації.

Відповідно до переліку вимог, сформованих вище, можна проаналізувати сучасні неінвазивні методи реєстрації пульсового сигналу з метою вибору найбільш прийняттого з точки зору поставленої задачі.

Аналіз неінвазивних методів реєстрації пульсограма. Більш прийнятними для широкого використання у повсякденній клінічній практиці є неінвазивні методи реєстрації параметрів пульсової хвилі,

оскільки вони відбуваються без пунктирування артерії та порушення психологічного та емоційного стану пацієнта при інвазивному втручанні.

Форму пульсової хвилі можна досліджувати за допомогою відносно простих методик. Біосигнали, що відбивають об'ємні пульсові коливання кровонаповнення судин, знімають за допомогою реографа, плетизмографа, фотоплетизмографа. Вважають, що вони відображають сумарний ефект пульсації артеріального і венозного відділів судинного русла досліджуваної області. При аналізі біосигналів радіального зміщення прийнято вважати, що реєструються пульсові коливання тільки артеріальної (п'єзограма, сфігмограма) або тільки венозної (флебограма) стінки залежно від того, як встановлений датчик зйому інформації.

Реографія (метод імпедансної плетизмографії) [4, 5] – непрямий неінвазивний динамічний метод, що базується на біофізичному принципі реєстрації змін електричного опору тканин при пропусканні електричного струму високої частоти (20– 40 кГц) і слабкої сили (10 мА) через досліджувану ділянку з графічною реєстрацією пульсових коливань комплексного електричного опору. Жива тканина розглядається як електричний провідник, що має іонну провідність. Коливання електричного опору дотично відображають зміни швидкості та об'єму крові, яка тече по судинах. Пульсові коливання кровоплину реєструються у вигляді кривих синхронних коливань електричного опору.

Об'єкт дослідження – порушення електропровідності органа на фоні змін у його кровонаповненні.

Рівень дослідження судинної системи – вимірювання величини регіонарної гемодинаміки та периферичного кровоплину за рахунок аналізу реограм шляхом оцінки пульсового кровонаповнення різних судинних басейнів, тонуусу артерій та вен.

Метод обробки отриманої інформації – кількісно-якісний (графічний).

Переваги методу:

1. Можливість довгої і безперервної реєстрації навіть незначних змін кровоплину без порушення фізіологічних умов досліджуваної ділянки.

2. Цілковита атравматичність, можливість проведення тривалих спостережень за гемодинамікою.

3. Застосування функціональних проб (із гіпервентиляцією, з гіперкапнією, з нітрогліцерином, із нікотиновою кислотою) дає змогу виявити приховані порушення кровообігу, відрізнити функціональні судинні зміни від органічних уражень судин мозку.

4. Широкі можливості для вивчення гемодинаміки життєво важливих органів і систем, своєчасної діагностики порушень кровоплину й призначення раціональної терапії.

Недоліки методу:

1. Загальний характер висновків про стан артеріальної та венозної ланок судинної системи, функція кровоплину яких відображається в одній кривій.

2. Роздільна здатність методу обмежена рівнем діагностики зниження кровонаповнення судинного басейну, а не сегмента конкретної судини.

3. Складність методу полягає в необхідності якісного виділення корисного сигналу активної провідності з одночасним врахуванням впливу реактивної (ємнісної) складової, яка виникає через ефекти поляризації шкіри та тканин. При збільшенні робочої частоти струму ємнісна складова зменшується, але з'являється ефект нагрівання тканин високочастотним струмом, який, змінюючи електропровідність, спотворює корисний сигнал. Рівень активної складової сигналу в найкращих результатах становить лише (0,5 – 1) % від рівня реєстрованого сигналу, що потребує значного підсилення на фоні шумів.

4. Значний вплив на реограму має методика її знімання, а саме розміри електродів, їх форма та відстань між ними та інші фактори, що впливають на розподіл ліній високочастотного струму. Обов'язковим є використання розчинів, що зменшують ємнісну складову, тому на даний час відходять від діагностики ССС за реографічними кривими.

Для розв'язання задач визначення параметрів судин і способів оцінки їх стану застосовують **сфігмографічний метод** [6, 7], заснований на аналізі графічного зображення форми коливання стінки судин або органів. Однак застосовувані пристрої мають суттєві обмеження і не в повній мірі задовольняють потребам практичної медицини. Це викликано низькою оперативністю досліджень, високою вартістю обладнання, необхідністю високої кваліфікації співробітників, а також проведенням обстежень в умовах стаціонару, обмеженістю каналів зняття сигналів та іншими факторами. Практика показує, що головним обмеженням, що перешкоджає коректної постановки діагностичних висновків про стан судин, є те, що число параметрів, що вимірюються, фіксовано, і значна частина інформації про стан пацієнта при виявленні захворювань враховується не завжди.

В сучасних системах реєстрації сфігмографічних сигналів використовуються чутливі твердотільні сенсори тиску з еластичною мембраною, п'єзоелектричні та пневматичні датчики [8].

Об'єкт дослідження – графічне відтворення характеристик артеріального пульсу в динаміці, визначення швидкості поширення пульсової хвилі по судинах еластичного та м'язевого типів.

Рівень дослідження судинної системи – розрізняють сфігмограми центрального пульсу (досліджують магістральні артерії) і периферичного пульсу (реєстрація здійснюється з дрібніших артеріальних судин).

Метод обробки отриманої інформації – кількісно-якісний (графічний).

Переваги методу:

1. Простота методики дослідження.
2. Можливість тривалої та безперервної реєстрації незначних змін швидкості поширення пульсової хвилі по артеріях.
3. Цілковита атравматичність, можливість проведення спостережень у динаміці.

Недоліки методу:

1. Мало застосовується в практичній медицині і є більш аналітичним методом, ніж конкретно діагностичним.

2. Суттєвим недоліком є значний вплив артефактів механічного походження. Кожна ділянка судини утворює з оточуючими тканинами коливальну систему з частотою приблизно 30 Гц. Значний вплив мають тканини, які розташовані між судиною і датчиком, а також товщина шкіри, що призводить до амплітудних та фазових спотворень. Це є причиною того, що незалежно від якості сенсора сфінгограма реєструється з деякими спотвореннями. Лише при встановленні сфінгографічних датчиків на аорті більшість з цих явищ має значно менший вплив.

Фотоплетизмографічний метод [4, 5, 9]. Слід відзначити, що, крім розглянутих вище неінвазивних методів визначення параметрів серцевого викиду, таких як механокардіографія, яка базується на сфінгографічних обстеженнях, з цією ж метою можна використовувати інші методи визначення кровонаповнення тканин. Наприклад, дуже перспективним і простим з боку процедури вимірювання є фотоплетизмографічний метод, який базується на залежності проходження монохроматичного світла через досліджувану ділянку від її кровонаповнення. Фотоплетизмографічний метод дозволяє реєструвати **зміну** об'єму органу або його частини, що викликані динамікою кровонаповнення протягом серцевого циклу. Зміни освітленості фіксуються фотоприймачем, а електричний сигнал від останнього виводиться на дисплей у вигляді пульсової кривої. Фотоплетизмограма, що отримується після підсилення та обробки сигналу фотоприймача, характеризує стан кровотоку в місці розташування сенсора.

Найчастіше виконуються дослідження в світлі, що проходить. У цьому разі здійснюється пряма оцінка кровонаповнення в необхідній ділянці людини. Але часто буває досить важко провести такі дослідження, наприклад, для оптично малопрозорих біотканин або для важкодоступних ділянок об'єктів. Тоді використовують метод фотоплетизмографії в відбитому світлі, що не тільки дозволяє оцінити загальний кровоток на ділянці, що вивчається, але й дає інтегральну оцінку властивостей поверхні дослідження. Ці вимірювання проводять з достатньою мірою точності і з мінімальним впливом на пацієнта.

У разі застосування фотоплетизмографії у відбитому світлі є можливість отримувати інформативні сигнали двома дещо відмінними способами. Окрім сигналу, що характеризує об'ємні зміни кровонаповнення, відбитий від *тканини* світловий потік також може модулюватися переданими на поверхню шкіри коливаннями пульсового тиску в артерії. Остання крива є фактично сфінгограмою, оскільки світло, відбите від поверхні шкіри неподалік від пульсуючої артерії, характеризує механічні коливання.

Об'єкт дослідження – візуалізація та аналіз форми, калібру, довжини та кровонаповнення капілярів, характеру потоку еритроцитів в них.

Рівень дослідження судинної системи – візуалізація перфузії крові на мікроциркуляторному рівні.

Метод обробки отриманої інформації – пряма візуалізація з кількісно-якісним аналізом.

Переваги фотоплетизмографії полягають у неінвазивності, експресності, високій точності, високій інформаційній ємності світлового поля, високій швидкості розповсюдження оптичних сигналів. Оптичне випромінювання є природним для організму і не викликає побічних ефектів. Для даного датчика характерна простота конструкції та кріплення, відсутність впливу електромагнітних завад та можливість дослідження судин в будь-якій частині шкіри та слизових оболонок людського організму без стиснення тканин.

Також слід зазначити і *наявні обмеження* до більш широкого впровадження фотоплетизмографічного методу в клінічну практику. Зокрема широкий діапазон варіацій властивостей різних об'єктів дослідження (пігментація, товщина шкіри), рівень артеріального тиску. Значний вплив дають артефакти оптичного, електричного, механічного та температурного походження.

Ультразвуковий доплерівський (УЗД) метод [5, 9, 10], що базується на ефекті Доплера, зазнав багатьох вдосконалень протягом періоду свого застосування. Сучасні доплерографи разом з обчисленням головного, з точки зору методу, параметру – швидкості кровотоку, дозволяють розраховувати середньоквадратичну швидкість, характер току крові (ламінальний, турбулентний) та інше.

Об'єкт дослідження – сегмент магістральної артерії чи вени.

Рівень дослідження судинної системи – магістральні судини.

Метод обробки отриманої інформації – кількісно-якісний (цифровий та/або графічний).

Проте *недоліки* у цього методу присутні також. Зокрема, сучасні апарати переважно візуалізують сигнал у формі дво- та тривимірних карт, на яких неможливо спостерігати поширення пульсової хвилі в часі і, як наслідок, обраховувати інші супутні параметри, не закладені в алгоритм процедури. Один з різновидів апарату – потоковий спектральний доплерограф, – відображає динаміку швидкості пульсової хвилі в часі, проте інформація про напрям поширення хвилі і її амплітуду відсутня. Окрім того, ультразвуковий метод не може бути застосований до органів з порожнинами через саму суть ультразвукових досліджень. Сучасні доплерографи не призначені для добового моніторингу, оскільки їхня діагностична значимість дещо вузькоспеціалізована (в основному експрес-дослідження судин головного мозку) з точки зору сучасної

медицини.

Завершити аналіз сучасних методів реєстрації пульсограм можна таблицею 1.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз методів реєстрації пульсограм

Метод реєстрації пульсограми	Характеристики методу					
	оклюзія судини	точність	можливість подальшої обробки	візуалізація сигналу	можливість розрахунку супутніх параметрів	використання для добового моніторингу
Пряма сфінгографія	ні	невисока	так	папір/екран	низька	так
Обємна сфінгографія	так	невисока	так	папір/екран	висока	ні
Флебосфінгографія	ні	висока	ні	папір/екран	низька	ні
Плетизмографія	ні	невисока	так	Папір	низька	ні
Фотоплетизмографія	ні	висока	так	Екран	висока	так
Реографія	ні	висока	так	папір/екран	висока	так

Висновок. Але, незалежно від техніки одержання пульсової кривої, вона становить значний інтерес для лікарів різних спеціальностей. Цей особливий інтерес обумовлений значною інформативністю і малою інерційністю відомостей про процеси, що лежать в основі плетизмографічних змін. Метод і засоби для його реалізації постійно розвиваються. Саме тому, враховуючи переваги фотоплетизмографічного методу, а також обмеження, які слід подолати, базовим біосигналом та оптимальним для проведення подальшої роботи над системою реєстрації, відображення та аналізу пульсової хвилі для визначення функціонального стану серцево-судинної системи обрано пульсограму, отриману за допомогою даного методу.

Література

1. Десова А.А. Компьютерная система диагностики на базе анализа ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии /А.А. Десова, Ю.С. Легович, О.С. Разин // Медицинская техника. – 1999. – № 2. – С. 3– 5.
2. Дорофеюк А.А. Измерение, преобразование и обработка пульсового сигнала лучевой артерии в медицин-ской диагностике/А.А.Дорофеюк, А.А. Десова, В.В. Гучук, Ю.А. Дорофеюк // Мир измерений. – 2009. – № 1. – С. 11– 19.
3. Миронова Т. Ф. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца / Т. Ф. Миронова, В. А. Миронов – Челябинск: Дом печати, 1998. – 162с.
4. Фролов Д.Н. Разработка структурных методов и системы автоматизированного анализа реограмм: автореф. дис.канд.техн.наук. Томск, 1980.
5. Фофанов П.Н. Учебное пособие по механокардиографии /П.Н. Фофанов. – Л.: ВМедА им. С.М. Кирова, 1977. – 111 с.
6. Терехова Л.Г. Практические вопросы сфигмографии / Л.Г. Терехова. – Л.: Медицина, 1968. – 118 с.
7. Валтерис А.Д. Сфигмография как метод оценки изменения гемодинамики под влиянием физической загрузки / А.Д. Валтерис– Рига: Зинатне, 1988. – 131 с.
8. Бороноев В.В. Датчики пульса для практической диагностики в тибетской медицине/В.В. Бороноев, В.Д. Дашинимаяев, Э.А. Трубачев. – В кн.: Пульсовая диагностика тибетской медицины. – Новосибирск: Наука, 1988, с.64 – 77.
9. Фролов С. В. Методы и приборы функциональной диагностики: учебное пособие/С.В. Фролов, В.М. Строев, А.В. Горбунов, В.А. Трофимов. – Тамбов: Изд-во Тамб.гос.техн.ун-та, 2008. – 80 с.
10. Савицкий Н. Н. Некоторые методы исследования и функциональной оценки системы кровообращения / Н.Н. Савицкий. – Л.: Медицина, 1956. – 329 с.

Надійшла 24.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Манойлов В.П.

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФАЗОМЕТРА ЗА МЕТОДОМ КОІНЦИДЕНЦІЇ

Наведено опис методу коінцидентції. Розглянуто можливість використання методу коінцидентції, для вимірювання фазових зсувів сигналів. Розроблено структурну схему вимірювача фази сигналів на основі принципу коінцидентції.

Ключові слова: метод коінцидентції, фаза сигналу, період сигналу.

The description of the method of coincidence. The possibility of using the method of coincidence for measuring the phase shift signals. The block diagram for measuring phase signals based on the principle of coincidence.

Key words: method of coincidence, the phase signal, the signal period.

Вступ

Метод коінцидентції це метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох квантованих фізичних величин: вимірюваної та відтворюваної багатозначною нерегульованою мірою. На відміну від методу ноніусу, в методі коінцидентції використовується моменти співпадіння між сигналами. Даний метод застосовувався ще в XIX столітті часовщиками для перевірки маятникових настінних годинників. На даний час метод коінцидентції використовується для вимірювання частоти, амплітуди, на його основі розроблені схеми ЦАП і АЦП.

В 1975 році американський вчений J. C. Fletcher запатентував застосування даного методу для вимірювання частоти (Пат. США . №3924183. J. C. Fletcher, Frequency measurement by coincidence detection with standard frequency. U. S. Patent 3, 924.183. 1975.) [1]. Метод полягає в наступному, якщо частоти не являються кратними одна одній, тоді через деякий час (час вимірювання) відбудеться часове співпадіння (коінцидентція) перетинів ліній частот, тобто співпадіння їх нуль переходів, які несуть в собі інформацію про результати вимірювань і не мають в своєму складі методичної складової похибки, яка залежить від часу вимірювання.

Мета роботи полягає у розробці методу вимірювання фази, який би не потребував інформації про частоту вхідних сигналів.

В роботі [2] показано, що при вимірюванні постійної напруги методом коінцидентції в межах $0 \div U_0$ вольтметр коінцидентції здатен виміряти в два рази більше значень напруги, ніж вольтметр на основі звичайного АЦП, і, до того ж, із точністю більшою вдвічі. В роботі також встановлено, що при використанні методу коінцидентції кількість квантованих значень шкали вимірювального пристрою значно більша, ніж прийнято використовувати у вольтметрах на основі звичайних АЦП в класичних двійкових перетворювачах. Із збільшенням розрядності цифрових перетворювачів вольтметра коінцидентції, роздільна здатність збільшується у степеневій залежності в порівнянні із вольтметром на основі звичайного АЦП з однаковими кількостями розрядів перетворювачів. Виграш роздільної здатності вольтметра коінцидентції із 10 розрядними перетворювачами складає 640 разів, і шкала перетворення є досить лінійною [2].

В роботах [3-6] розроблено дробово-раціональну шкалу вимірювання частоти за методом коінцидентції. Кількість поділок на вимірювальній шкалі вимірювань за методом коінцидентції зростає за рахунок появи додаткових поділок у проміжках класичної рівномірної двійкової шкали, в середньому пропорційно 2^{N-2} . Додаткові поділки у початковій частині вимірювальної шкали розташовуються значно густіше (2^{N-1}), але нерівномірно по всій шкалі, причому із збільшенням розрядності ця нерівномірність густини зменшується. В цілому, точність вимірювання частоти в радіотехнічних та телекомунікаційних системах можливо покращити в рази, одночасно збільшивши швидкість отримання результатів таких вимірювань за методом коінцидентції.

Проведений аналіз показав, що метод коінцидентції являється дуже перспективним для використання в швидкодіючих вимірювальних перетворювачах і тому числі і для НВЧ.

Основний позліл

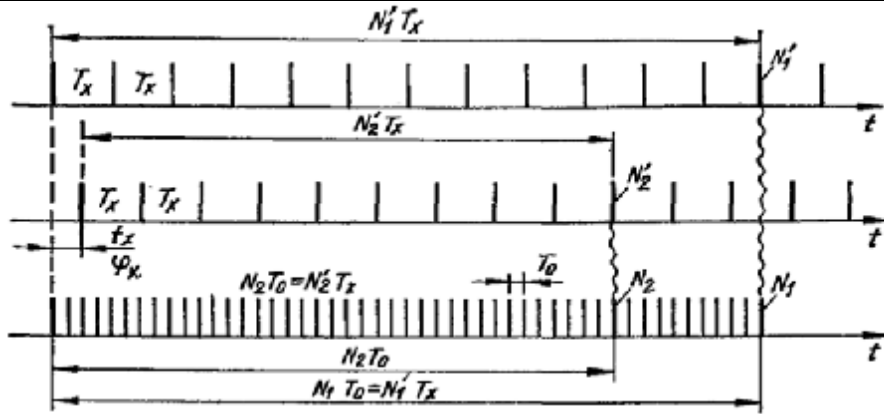
Ще у 1986 році П.П Орнатський у своїй книзі "Автоматичні вимірювання і прилади" запропонував застосувати метод коінцидентції для вимірювання фазових зсувів між сигналами, але прийнятної схеми вимірювача фазових зсувів сигналів із застосуванням методу коінцидентції не було створено. Також немає приладів, що використовують метод коінцидентції.

Методом коінцидентції може бути виміряний фазовий зсув j_x (рис.1), тобто еквівалентний інтервал t_x , на який зсунуті дві періодичні послідовності імпульсів з періодом T_x . В цьому випадку проводиться рахунок числа N_1 квантуючих імпульсів з періодом T_0 і рахунок числа N_1' імпульсів першої послідовності T_x , які знаходяться між співпадіннями імпульсами цих послідовностей. Тоді

$$N_1 T_0 = N_1' T_x \quad (1)$$

Виконується також рахунок N_2 квантуючих імпульсів з періодом T_0 , і числа імпульсів N_2' - другої послідовності з періодом T_x , яка зсунута на вимірювальний інтервал t_x і знаходиться між першим моментом співпадіння першої пари послідовностей імпульсів і найближчим моментом співпадіння імпульсів другої пари послідовності імпульсів. Тоді

$$N_2 T_0 = N_2' T_x + t_x \quad (2)$$

Рис.1 Вимірювання фази сигналів J_x методом коінциденції[7]

З цих двох рівнянь за допомогою перетворень отримуємо рівняння для вимірювання інтервалу часу t_x методу коінциденції таким чином:

З (1) знайдемо T_x :

$$T_x = \frac{N_1 \cdot T_0}{N_1'} \quad (3)$$

і підставимо в (2):

$$N_2 T_0 = \frac{N_2' \cdot N_1 \cdot T_0}{N_1'} + t_x \quad (4)$$

З (4) знайдемо формулу для вимірювання інтервалу часу t_x методу коінциденції :

$$t_x = \left(\frac{N_1' N_2 - N_2' N_1}{N_1'} \right) \cdot T_0 \quad (5)$$

де N_1 - перша періодична послідовність імпульсів з періодом T_0 ; N_2 - друга періодична послідовність імпульсів з періодом T_0 ; N_1' - перша періодична послідовність імпульсів з періодом T_x ; N_2' - друга періодична послідовність імпульсів з періодом T_x .

Аналіз (5) показує що t_x не залежить від T_x . Отже він може бути знайдений при зміні частоти періодичних імпульсів в широких межах. Похибки вимірювання будуть визначатись в основному тільки тривалістю імпульсів.

Щоб знайти кут зсуву фази J_x потрібно звернутись до класичної теорії ФЧВ і ПР. В загальному випадку фазовий зсув сигналів визначають як [8] (згідно ГОСТ 8.139-75):

$$\Delta\phi = \frac{\tau}{T} \cdot 360^\circ. \quad (6)$$

В виразі (6) невідомим є лише t - інтервал часу між моментами коли сигнали знаходяться в однаковій фазах. Для того щоб виміряти фазу запропонованим нам методом, потрібно лише визначити t , в нашому випадку він є тотожним t_x - інтервалу на який зсунуті дві періодичні послідовності імпульсів. Тобто, $t = t_x$.

Отже, підставивши значення з виразу (5) в вираз (6) ми знайдемо фазовий зсув сигналів за методом коінциденції:

$$\Delta\phi = \left(\frac{N_1' N_2 - N_2' N_1}{N_1'} \right) \cdot T_0 \cdot \frac{1}{T} \cdot 360^\circ \quad (7)$$

де T - період гармонічного сигналу; T_x - період сигналу ГОС, вони є рівними між собою $T = T_x$.

Підставивши вираз (3) у вираз (7), отримаємо:

$$\Delta\phi = \left(\frac{N_1' N_2 - N_2' N_1}{N_1'} \right) \cdot T_0 \cdot \frac{N_1'}{T_0 \cdot N_1} \cdot 360^\circ \quad (8)$$

Виконавши необхідні скорочення ми отримаємо вираз для вимірювання фазового зсуву сигналу за методом коінциденції, він буде мати вигляд:

$$\Delta\phi = \left(\frac{N_1'N_2 - N_2'N_1}{N_1} \right) \cdot 360^\circ \quad (9)$$

Реалізація пристрою за формулою (9) вимагає наступних блоків:

- формувачів імпульсів (ФІ), які приведуть вхідні сигнали, зсунуті між собою, у короткі імпульси;
- двох схем співпадіння (СС1 – СС2), для виявлення моментів співпадіння між вхідними сигналами та сигналу від ГОС – генератора опорного сигналу;
- чотирьох лічильників (Л1 – Л4) для розрахунку N_1, N_2, N_1', N_2' ;
- мікропроцесорного обчислювального блоку (МОБ) для розрахунку за виразом (9).

Із застосуванням вищеперерахованих блоків, що показані вище, була розроблена структурна схема вимірювача фазових зсувів сигналів на основі методу коінцидентності.

На (Рис.2) представлено структурну схему вимірювання фазового зсуву методом коінцидентності:

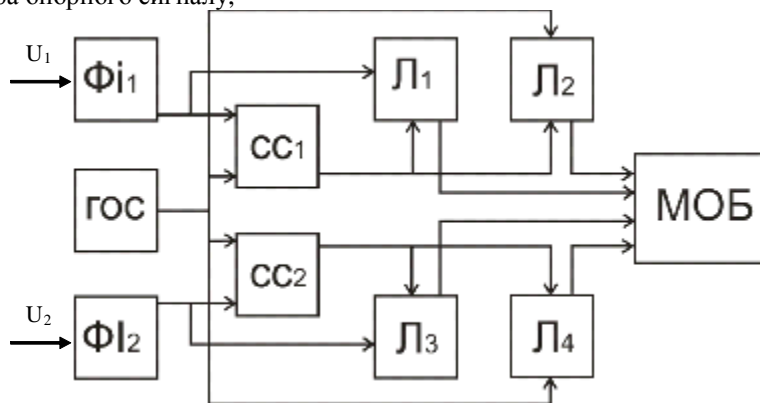


Рис.2. Структурна схема вимірювання ФС методом коінцидентності

Формувачі імпульсів (ФІ) формують імпульси короткої тривалості, які окремо порівнюються з імпульсними сигналами генератора опорних сигналів (ГОС). Далі ці імпульси потрапляють на схеми співпадіння (СС₁ і СС₂): СС₁ слідкує за співпадіннями першої пари сигналів, СС₂ слідкує за співпадіннями другої пари сигналів. Чотири лічильники імпульсів Л₁, Л₂, Л₃, Л₄, які рахують імпульси від ГОС керуються сигналами, що формуються в процесі роботи схем співпадіння. Мікропроцесорний обчислювальний блок (МОБ) виводить результати обрахунку на дисплей за формулою (9).

Висновок:

Метод коінцидентності є достатньо відомим методом вимірювання, який вже використовується. Однак, метод коінцидентності не знайшов свого використання для прямих вимірювань зсувів фаз. Пов'язано це з відсутністю схемних реалізацій відповідного вимірювача зсуву фаз.

Можливість вимірювання фази шляхом накопичення результату дозволяє використовувати схему для вимірювання як миттєвого значення фази, так і для вимірювання фазового зсуву за великий проміжок часу. В роботі обґрунтована можливість побудови такого вимірювача та показано його можливу структурну схему. Так наприклад, в роботі [9] показана необхідність використання саме вимірювання за тривалий час.

Встановлено, що в методі коінцидентності, згідно виразу (8), відсутня необхідність вимірювання частоти як ГОС так і вхідного сигналів.

Література

1. Пат. США . №3924183. J. C. Fletcher, Frequency measurement by coincidence detection with standard frequency. U. S. Patent 3, 924,183. 1975.
2. Гуляс О.Й. Вимірювання постійної напруги методом коінцидентності / О.Й.Гуляс, О.П.Войтюк
3. Троцишина Л.В. Вимірювання частоти за методом коінцидентності/ Троцишина Л.В.,Войтюк О.П., Троцишин І.В.// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – №2. – С. 198-203.
4. Троцишин І.В Ієрархія сучасних цифрових методів вимірювання частоти та методологія їх застосування у радіотехнічних та телекомунікаційних системах/ І.В. Троцишин, В.Т. Кондратов, Л.В. Троцишина. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – №2. – С. 226-233.
5. Троцишин І.В. Вимірювання частоти за методом коінцидентності та особливості утворення шкали вимірювального перетворення / І.В. Троцишин, О.П. Войтюк, Л.В. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – Технічні науки. – С. 240-244.
6. Троцишин І.В. Напрямки квантової теорії вимірювального перетворення фізичних величин на основі єдиної дробово-раціональної шкали вимірювань / І.В. Троцишин // Вісник ХНУ. – 2011. – № 1. – Техн. наук. – С.196-201.
7. Орнатский. П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) 5-е изд., перераб. и доп. – К.; Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 604 с.
8. Троцишин І.В. Частота, кут фазового зсуву, повний фазовий зсув: - ілюзії та реальність // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – №2. –С. 193-198.
9. Мазур І. Аналіз сумарного фазового сигналу відбиття на різних частотах методами спектрального аналізу / І. Мазур, К.Л. Горященко // Вимірювальна і обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – №2. – С. 36-40.

Надійшла 21.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

ОРГАНІЗАЦІЙНА СХЕМА ПОВІРКИ ЕТАЛОНІВ, ЛІЧИЛЬНИКІВ ТА ВИТРАТОМІРІВ ГАЗУ НА ОСНОВІ ДІАГРАМ СТАНІВ

Запропоновано вирішення проблеми охоплення повіркою всіх робочих еталонів і робочих засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу шляхом розроблення заходів з управління організацією формування графіків повірки засобів вимірювальної техніки та гнучким реагуванням на ризики недотримання цих графіків. Для контролю своєчасності проведення повірочних робіт розроблена діаграма станів з контрольними точками.

Ключові слова: робочі еталони, повірка, об'єм газу, об'ємна витрата газу, графік повірки, діаграма станів.

A solution to the problem of coverage calibration of working standards and working means of measurement of volume and volumetric flow of gas through the development of measures to control the formation of the organization charts calibration of measuring instruments and flexible response to the risks of non-compliance with these schedules. To control the timing of the calibration work developed state diagram of the control points.

Key words: робочі еталони, повірка, об'єм газу, об'ємна витрата газу, графік повірки, діаграма станів.

Вступ

Нормативний документ [1] встановлює кількість ступенів передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати газу від державного еталона до робочих засобів вимірювальної техніки, типи вторинних, робочих еталонів, еталонів передавання та типи робочих засобів вимірювань. Кількість ступенів передавання, при розробленні повірочної схеми, вибиралась виходячи із кількості робочих еталонів та засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу, що експлуатуються та виготовляються в Україні чи завозяться з-за кордону з метою охоплення повіркою цих приладів протягом міжповірочного інтервалу. Однак, за час дії стандарту [1] ця кількість змінюється. З другої сторони, міжповірочний інтервал може також мінятися. При випуску з виробництва чи завезенні з-за кордону для засобів вимірювальної техніки міжповірочний інтервал встановлюється актом державних випробувань. В процесі експлуатації цей інтервал може піддаватися коригуванню, що викликається рядом факторів, наприклад, старіння чи знос деталей, внаслідок чого проходять зміни метрологічних характеристик засобів вимірювань чи еталонів. Сукупність цих двох чинників (кількість ступенів передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати газу та величина міжповірочного інтервалу засобів вимірювань цих величин) можуть призвести до того, що певна кількість робочих еталонів чи робочих засобів вимірювальної техніки не будуть вчасно повірені.

Найгірша ситуація склалася із своєчасною повіркою побутових лічильників газу. Для вирішення цієї проблеми документом [2] збільшено міжповірочний інтервал побутових лічильників газу. Однак, і даний крок не суттєво покращив ситуацію. В роботі [3] запропоноване більш радикальне рішення: не проводити періодичну повірку побутових лічильників газу, а здійснювати їх заміну на нові, більш досконалі. Але вирішення проблеми таким шляхом фінансово неможливе із-за великої кількості лічильників газу, що знаходяться в експлуатації та повинні би підлягати заміні.

Постановка завдання

Автором цієї роботи пропонується вирішення проблеми охоплення повіркою всіх робочих еталонів і робочих засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу шляхом розроблення заходів з управління організацією формування графіків повірки засобів вимірювальної техніки та гнучким реагуванням на ризики недотримання цих графіків, що і є метою даної роботи.

Результати дослідження

Першим організаційним заходом є формування основних етапів повірочних робіт, на основі даних з повірочної схеми [1], з наведенням послідовності та пріоритетності їх проведення (табл. 1).

Таблиця 1

Основні етапи повірочних робіт

Етапи робіт	Статус засобу вимірювань	Залежність від попередніх етапів
E1	ДЕТУ	
E2	ЕП	E1
E3	РЕПС	
E4	ВЕТУ	E1, E3
E5	РЕ	E1, E2, E3, E4
E6	РЗВТ	E5

Позначення в табл. 1 наступні: ДЕТУ – державний еталон, ЕП – еталони передавання, РЕПС – робочі еталони, запозичені з інших повірочних схем, ВЕТУ – вторинні еталони, РЕ – робочі еталони, РЗВТ – робочі засоби вимірювальної техніки.

На основі даних, наведених в табл. 1, будується діаграма станів основних повірочних робіт (рис. 1).

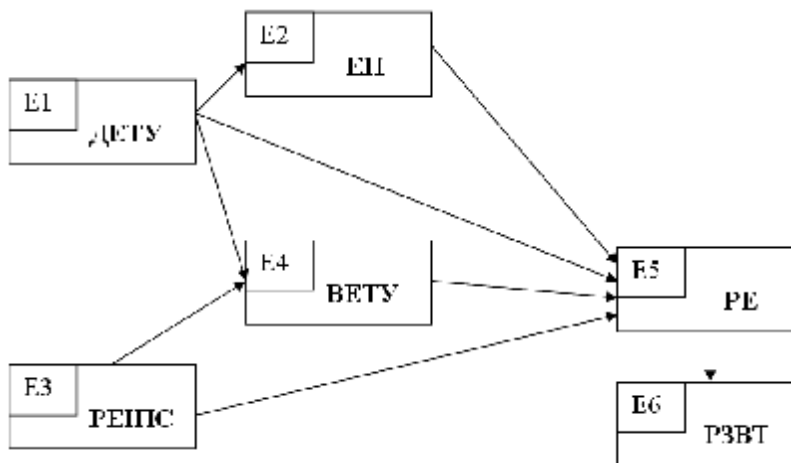


Рис. 1. Діаграма станів основних повірочних робіт

Як видно із рис. 1, робочі еталони (РЕ) можуть повірятися на державному еталоні (ДЕТУ), за допомогою еталонів передавання (ЕП), на вторинному еталоні (ВЕТУ) та з використанням робочих еталонів з інших повірочних схем (РЕПС). Тому, доцільно буде зобразити більш розширену діаграму станів з наведенням конкретних типів робочих еталонів, які будуть розподілені для повірки на вищеперелічених еталонах. Аналогічно, треба закріпити робочі засоби вимірювальної техніки (РЗВТ), вказавши їх типи, за конкретними типами робочих еталонів.

Відповідно до [1], робочі еталони бувають наступних типів: повірочні установки дзвонового типу (ПУДТ), повірочні установки з еталонними лічильниками (ПУЕЛ), повірочні установки з еталонними критичними соплами (ПУЕКС), повірочні установки РVTt типу (ПУРТ) та набори еталонних витратомірів (НЕВ). Перелічені типи робочих еталонів можуть повірятися на будь-яких еталонах вищої точності (ДЕТУ, ВЕТУ, ЕП, РЕПС) крім повірочних установок дзвонового типу (ПУДТ), які повіряються тільки на вторинних еталонах (ВЕТУ) з використанням робочих еталонів з інших повірочних схем (РЕПС).

За даними [4], в Україні експлуатується біля 200 повірочних установок різних типів:

- повірочні установки дзвонового типу – 21;
- повірочні установки з еталонними лічильниками – 154 (з них 37 промислових);
- повірочні установки з еталонними критичними соплами – 11;
- повірочні установки РVTt типу – 5;
- набір еталонних витратомірів – 1.

Одиницю об'єму та об'ємної витрати газу робочі еталони отримують від сімох еталонів вищої точності: одного державного еталона, двох еталонів передавання та чотирьох вторинних еталонів. Крім того, одиниці цих фізичних величин еталони передавання та вторинні еталони отримують від державного еталона. Оптимальним буде, коли ці еталони будуть завантажені повірочними роботами рівномірно.

Етапи повірочних робіт робочих еталонів об'єму та об'ємної витрати газу з наведенням послідовності та пріоритетності їх проведення наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Етапи повірочних робіт робочих еталонів з контрольними точками

Етапи робіт	Статус засобу вимірювань	Залежність від попередніх етапів
E1	ДЕТУ	
E2	ЕП	E1
E4	ВЕТУ	E1
E5-1	ПУДТ	E4
E5-2	ПУЕЛ	E2, E4
E5-3	ПУЕКС	E1
E5-4	ПУРТ	E1
E5-5	НЕВ	E1

На основі табл. 2 розроблена діаграма станів повірочних робіт робочих еталонів з контрольними точками, які зображаються у вигляді еліпсів з вказанням дати початку (перед етапом) та завершення (після етапу) виконання повірочних робіт (рис. 2). На полі етапів, в кружечку, вказана кількість еталонів наведеного в етапі типу.

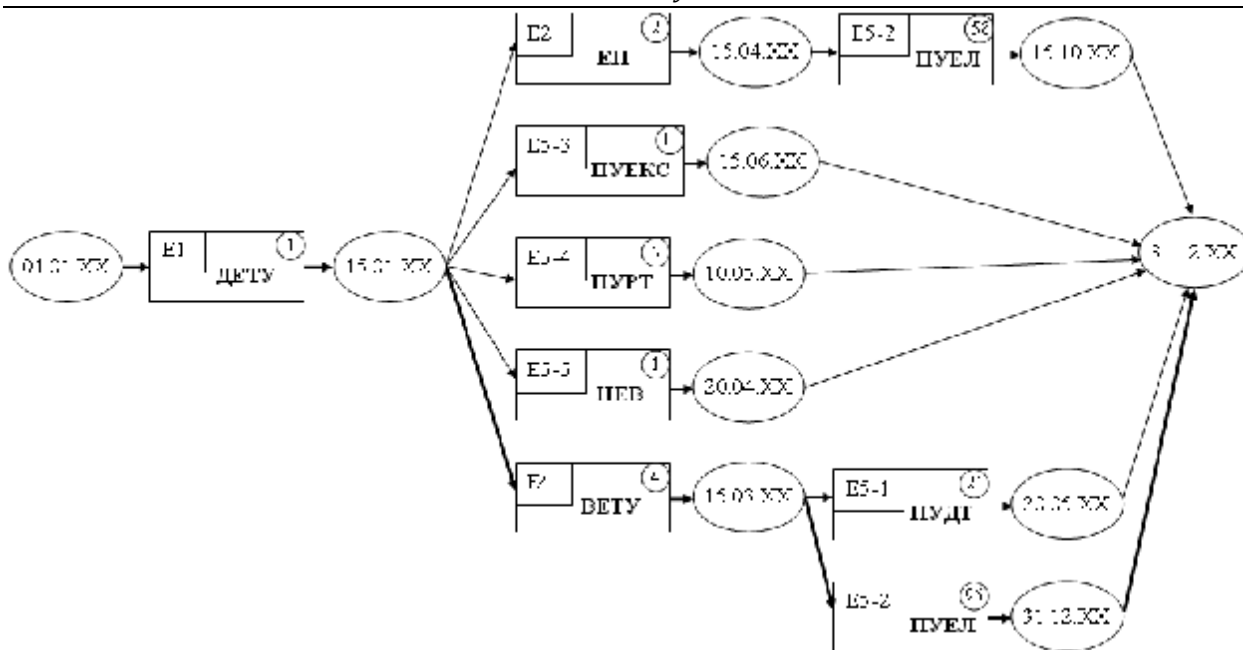


Рис. 2. Діаграма станів повірочних робіт робочих еталонів з контрольними точками

Наявність контрольних точок на діаграмі (рис. 2) дозволяє контролювати своєчасність виконання етапів робіт. Темнішим кольором на діаграмі станів наведена лінія E1→E4→E5-2, на яку витрачається найбільше часу на повірочні роботи, тому контролювання терміну виконання робіт в рамках цієї лінії є найважливішим. Інші лінії, по відношенню до даної, можуть бути резервними у випадку несвоєчасного виконання робіт на цій лінії. При виникненні такого випадку частина робочих еталонів повинна бути піддана повірці з використанням інших еталонів вищої точності, наприклад, на лінії E1→E5-5, на якій контрольна точка „20.04.XX” свідчить про найшвидше завершення робіт на даній лінії.

Наступним заходом є формування графіків повірки еталонів об'єму та об'ємної витрати газу (табл. 3) на основі діаграми станів (рис. 2).

Таблиця 3

Шаблон графіка повірки еталонів об'єму та об'ємної витрати газу

№ п/п	Тип еталона	Терміни повірки
1	ДЕТУ	01.01.XX – 15.01.XX
2	ЕП 1	15.01.XX – ...
3	ЕП 2	... – 15.04.XX
4	ВЕТУ 1	15.01.XX – ...
...
7	ВЕТУ 4	... – 15.03.XX
8	НЕВ	15.01.XX – 20.04.XX
9	ПУРТ 1	15.01.XX – ...
...
13	ПУРТ 5	... – 10.05.XX
14	ПУЕКС 1	15.01.XX – ...
...
24	ПУЕКС 11	... – 15.06.XX
25	ПУДТ 1	15.03.XX – ...
...
45	ПУДТ 21	... – 20.05.XX
46	ПУЕЛ 1	15.03.XX – ...
...
199	ПУЕЛ 154	... – 31.12.XX

Робочі засоби вимірювальної техніки (РЗВТ), згідно з [1], бувають трьох типів: лічильники об'єму газу (ЛОГ), витратоміри-лічильники газу (ВЛГ) та витратоміри об'ємної витрати газу (ВОВГ). Лише останні з перелічених типів (ВОВГ) можуть повірятися на будь-якому робочому еталоні, інші два типи (ЛОГ та ВЛГ) – на чотирьох з п'яти типів робочих еталонів (за винятком НЕВ). Діаграма станів повірочних робіт засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу наведена на рис. 3.

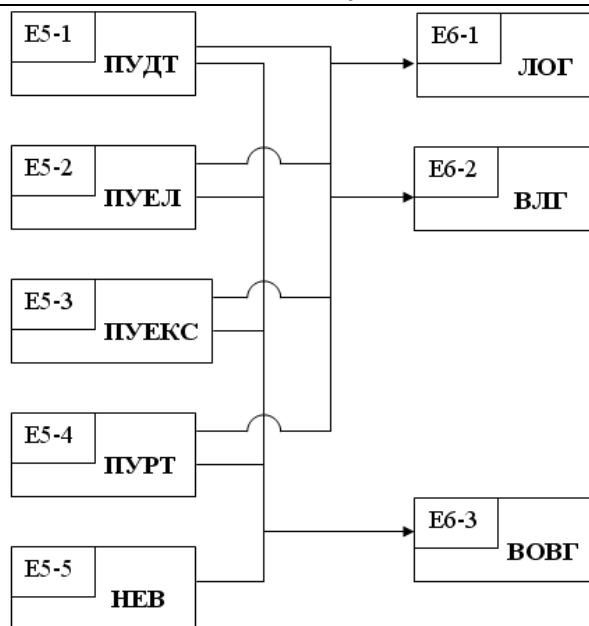


Рис. 3. Діаграма станів повірочних робіт засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу

В Україні встановлено та експлуатується близько 147 тис. промислових та 8,24 млн. побутових робочих засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу [5]. На кожному робочому еталоні, для охоплення повіркою всіх РЗВТ, необхідно повірити 3-4 засоби вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу в день. Для забезпечення їх своєчасної повірки потрібно складати відповідні щорічні графіки (аналогічні, як в табл. 3) для кожного конкретного робочого еталона, на якому будуть повірятися ці РЗВТ.

Висновок

Використання діаграм станів для складання графіків повірки робочих еталонів та робочих засобів вимірювань об'єму газу дозволить своєчасно охоплювати їх повірочними роботами та гнучко реагувати на ситуації, коли виникає ризик недотримання графіку повірки певного засобу вимірювань.

Предметом подальших наукових досліджень буде розроблення методики оптимізації діаграм станів повірочних робіт засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу у випадку виникнення ризиків несвоечасності здійснення повірки цих засобів вимірювань.

Література

1. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу: ДСТУ 3383:2007. - [Чинний від 2007-07-01]. - К: Держспоживстандарт України 2007. - 6 с. - (Національний стандарт України).
2. Про врегулювання питання щодо збільшення міжповірочних інтервалів лічильників газу: НАКАЗ від 5 жовтня 2004 року N 218/501/537. - Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, Міністерство промислової політики України, Національна акціонерна компанія "Нафтогаз України".
3. Бондаренко В.С., Чупрін М.І. Періодична повірка побутових лічильників газу чи їх заміна? // Нафтова і газова промисловість. - 2011. - №1. - с. 56-58.
4. Стан метрологічного забезпечення обліку газу в Україні// [Електронний ресурс]. - Івано-Франківськстандартметрологія. - 2012. - Режим доступу до ресурсу: http://ifdcsm.com.ua/index.php?id=3&mhnews_id=380&mhnews_newsId=27110&mhnews_page=1
5. Розподіл і споживання// [Електронний ресурс]. - НАК „Нафтогаз України”. - 2012.- Режим доступу до ресурсу: <http://www.naftogaz.com/www/2/nakweb.nsf/0/7DDC3A61C04C9BC22573FE00442E7F?OpenDocument&Expand=2.2.5&>

Надійшла 22.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

**ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ:
РЕШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ
С ПРИПИСЫВАЕМОЙ ОБЪЕКТУ ИЗМЕРЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛЬЮ
СООБЩЕНИЕ 2.1**

В сообщении рассмотрены пути и методы решения задач избыточных измерений физических величин направленного действия с приписываемой объекту измерений математической моделью и при линейной функции преобразования измерительного канала.

Ключевые слова: метрологические задачи, методы решения, избыточные измерения, информативно-избыточные модели.

In the message ways and methods of the decision of metrological problems of redundant measurements of physical quantities of the directed action are considered. And problems with attributed to object of measurements of mathematical model are considered and at linear function of transformation of the measuring channel.

Keywords: metrological problems, decision methods, redundant measurements, informatively-redundants models.

Введение

В работах [1-4] описаны пути и методов решения метрологических задач при линейной функции преобразования измерительного канала. Причем в работе [1] описан фундаментальный подход к решению метрологических задач, который может служить основой для написания кандидатских диссертаций по избыточным измерениям величин разной физической природы. Описана классификация путей и методов решения метрологических задач. Показано, что теоретическая проработка всех этапов решения метрологических задач является залогом успешного создания средств избыточных измерений. Рассмотрен частный пример решения метрологической задачи без приписываемой объекту измерений математической модели и для случая измерения физических величин направленного действия при линейной функции преобразования измерительного канала. В работах [2, 3] рассмотрены пути и методы решения метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного и ненаправленного действия без приписываемой объекту измерений математической модели, а в работе [4] — с приписываемой объекту измерений математической моделью, но только для физических величин ненаправленного действия.

Ниже рассматриваются пути и методы решения еще четырех метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного действия с приписываемой объекту измерений математической моделью. Описание данных задач приводится в усеченном виде, — без определения метрологических характеристик, параметров и показателей метрологической надежности в отличие от [1].

Пути и методы решения метрологических задач с приписываемой объекту измерений математической моделью рассматриваются на примерах избыточных измерений конкретных физических величин направленного действия. Их различия, как будет показано ниже, состоят в способах физической реализации измеряемых величин, однородных с искомой.

Объект исследований — процесс избыточных измерений действующего значения тока в высоковольтной линии электропередач.

Предмет исследований — процесс избыточных измерений действующего значения тока при решении метрологических задач с приписываемой объекту измерений математической моделью и при линейной функции преобразования измерительного канала.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с путями и методами решения конкретных метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного действия, — действующего значения тока, с приписываемой объекту измерений математической моделью.

Результаты исследований

Метрологическая задача 10

Рассмотрим метрологическую задачу определения бесконтактным методом действующего значения тока в высоковольтной линии электропередач постоянного или переменного тока с использованием датчика Холла и значений параметров функции преобразования измерительного канала с целью текущего контроля состояния и поддержания метрологической сверхнадежности интеллектуальной измерительной системы «ОИ – СИИ» для случая, когда не возможно сформировать физическую величина нулевого размера, но в наличии имеется мера, воспроизводящая магнитное поле с установленным опорным значением напряженности B_0 .

Предположим, что объекту измерения приписывается математическая модель, связывающая ЭДС Холла E_x , магнитную индукцию B_x , ток управления I_y и постоянную Холла R_x . Причем имеет место линейная зависимость ЭДС Холла от магнитной индукции:

$$E_{xx} = R_x I_y B_x / d_0, \quad (1)$$

где $B_x = k_{\text{п}} I_x$; $k_{\text{п}}$ — коэффициент пропорциональности; I_x — действующее значение тока; d_0 — толщина полупроводниковой пластины датчика Холла.

Как будет показано ниже, практическая реализация «меры» напряженности магнитного поля, воспроизводящей опорное значение $\{B_0\}$ напряженности, не представляет трудностей. Причем опорное значение напряженности B_0 магнитного поля может быть как постоянным, так и переменным во времени.

Решения данной задачи рассмотрим для случая, когда физически невозможно осуществить обесточивание линии электропередач. При этом используются ряды измеряемых физических величин, размеры которых связаны между собой по закону арифметической и геометрической прогрессий:

$$\left. \begin{aligned} E_{x1} &= R_x I_y B_x / d_0, \\ E_{x2} &= R_x k_{\text{л}} I_y B_x / d_0, \\ E_{x3} &= R_x I_y (B_x + B_0) / d_0, \\ E_{x4} &= R_x k_{\text{л}} I_y (B_x + B_0) / d_0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В данном случае информативная избыточность достигается путем измерительного преобразования в напряжение напряженности магнитных полей (B_x и $B_x + B_0$), создаваемых токами от исследуемой высоковольтной линии электропередач и от стабильного генератора тока при двух значениях тока управления I_y , — при начальном, при котором устанавливается рабочая точка, и при измененном в $k_{\text{л}}$ раз (на (10–20)%).

При линейной функции преобразования измерительного канала на его выходе получают напряжения

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_{\text{л}} E_{x1} + \Delta U'_{\text{л}}, \\ U_2 &= S'_{\text{л}} E_{x2} + \Delta U'_{\text{л}}, \\ U_3 &= S'_{\text{л}} E_{x3} + \Delta U'_{\text{л}}, \\ U_4 &= S'_{\text{л}} E_{x4} + \Delta U'_{\text{л}}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

пропорциональные ЭДС Холла, и описывающие состояние измерительной системы в дискретные моменты времени.

Следует заметить, что при вводе устройства, реализующего метод избыточных измерений, в эксплуатацию запоминаются номинальные значения параметров измерительного канала — $S'_{\text{л}}$ и $\Delta U'_{\text{л}}$, полученные при значении напряженности магнитного поля B_0 , воспроизводимого мерой, и двух значениях тока управления: $\{I_{y1}\} = \{I_y\}$ и $\{I_{y2}\} = k_{\text{л}} \{I_y\}$.

Запишем систему линейных уравнений величин (3), с учетом приписываемой математической модели (2), в виде:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_{\text{л}} R_x I_y B_x / d_0 + \Delta U'_{\text{л}}, \\ U_2 &= S'_{\text{л}} R_x k_{\text{л}} I_y B_x / d_0 + \Delta U'_{\text{л}}, \\ U_3 &= S'_{\text{л}} R_x I_y (B_x + B_0) / d_0 + \Delta U'_{\text{л}}, \\ U_4 &= S'_{\text{л}} R_x k_{\text{л}} I_y (B_x + B_0) / d_0 + \Delta U'_{\text{л}}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В результате решения системы (3) получают уравнение избыточных измерений:

а) действующего значения тока (через разности второго и первого, четвертого и третьего уравнений величин системы (4)), — в виде

$$I_x = \frac{B_x}{k_{\text{п}}} = \frac{B_0}{k_{\text{п}}} \frac{U_2 - U_1}{(U_4 - U_3) - (U_2 - U_1)}; \quad (5)$$

б) крутизны преобразования (из разности первого и третьего напряжений), — в виде

$$S'_{\text{л}} = d_0 (U_3 - U_1) / R_x I_y B_0 = (U_3 - U_1) / E_{x0} \quad (6)$$

или (из разности четвертого и второго напряжений)

$$S'_{\text{л}} = d_0 (U_4 - U_2) / k_{\text{л}} R_x I_y B_0 = (U_4 - U_2) / k_{\text{л}} E_{x0}; \quad (7)$$

в) смещения функции преобразования, — в виде

$$\Delta U'_{\text{л}} = U_1 - \frac{(U_3 - U_1)(U_2 - U_1)}{(U_4 - U_3) - (U_2 - U_1)} \quad (8)$$

или

$$\Delta U'_{\text{л}} = U_2 - \frac{(U_4 - U_2)(U_2 - U_1)}{(U_4 - U_3) - (U_2 - U_1)}. \quad (9)$$

Согласно (5), результат избыточных измерений действующего значения тока не зависит от Э.Д.С.

Холла, от постоянной R_x Холла, от толщины d_0 полупроводниковой пластины датчика Холла, а также от параметров S'_L и $\Delta U'_L$ линейной функции преобразования измерительного канала. Благодаря этому достигается высокая точность измерений.

Для рассматриваемой задачи формализованное описание измерительного канала в виде информативно-избыточной модели может быть записано следующим образом:

$$E_{xvi} \left| \begin{matrix} i=4 \\ i=1 \end{matrix} \right. \begin{matrix} E_x \\ B_x I_x \end{matrix} \Rightarrow U_{Li} \left| \begin{matrix} \% \leq 1 \text{ ppm/1 час} \\ \tau_{\text{пр}} \leq 1 \text{ мс} \end{matrix} \right. = S'_L E_{xvi} + \Delta U'_L \left| \begin{matrix} k_{\text{ус}} \approx 1 \cdot 10^3 \\ \Delta U_L = 5 \cdot 10^{-3} \text{ В} \\ \Delta f = 50 \text{ кГц} \end{matrix} \right. \begin{matrix} \text{АЦП14} \\ \Rightarrow \\ f_d = 10 \text{ кГц} \end{matrix} N_i \left| \begin{matrix} i=4 \\ i=1 \end{matrix} \right. \quad (10)$$

Формализованная информативно-избыточная модель (10) читается следующим образом: 1) измеряются четыре однородные физические величины (2); 2) осуществляется прямое измерительное преобразование каждой физической величины в напряжение с модуляцией тока управления магнитной индукцией; 3) измерительный канал имеет линейную функцию преобразования; 4) дрейф нуля не превышает 1 мкВ в час; 5) время преобразования составляет не более 1 мс; 6) коэффициент усиления измерительного канала равен 1000; 7) полоса пропускания составляет 50 кГц; 8) аналого-цифровое преобразование выходного сигнала измерительного канала осуществляется 14-ти разрядным АЦП; 9) частота дискретизации АЦП $f_d = 10$ кГц.

На рисунке приведена функциональная схема интеллектуального цифрового измерителя действующих значений токов в высоковольтной линии электропередач, где М — кольцеобразный магнитопровод с зазором; СГТ — стабильный генератор тока (мера); ОИ — объект измерений (фрагмент высоковольтной линии электропередач); ДХ — датчик Холла; ДУ1 и ДУ2 — первый и второй дифференциальные усилители; УИТ — управляемый (стабилизированный) источник тока; ЦАП — цифроаналоговый преобразователь; КЛ — клавиатура (наборное поле); МК — микроконвертер; ЭС — экспертная система; ЖКИ — жидкокристаллический индикатор.

Работа измерителя достаточно проста и осуществляется по командам, записанным в постоянное запоминающее устройство сигнального процессора СП. Магнитопровод М устанавливается на заданном участке высоковольтной линии электропередач как указано на рисунке. Электромагнитное поле, создаваемое током I_x высоковольтной линии электропередач, наводит в магнитопроводе М магнитное поле напряженностью B_x . Генератор тока СГТ генерирует стабильный ток I_0 принятого значения, который, проходя через катушку индуктивности L , и наводит в магнитопроводе М магнитное поле напряженностью B_0 . Причем в первых двух тактах на вход генератора тока СГТ поступает сигнал с выхода последовательного порта SPI, который выключает СГТ.

Магнитное поле напряженностью B_0 не формируется. В последующие два такта СГТ включается по команде с СП и в магнитопроводе М наводится магнитное поле напряженностью B_0 .

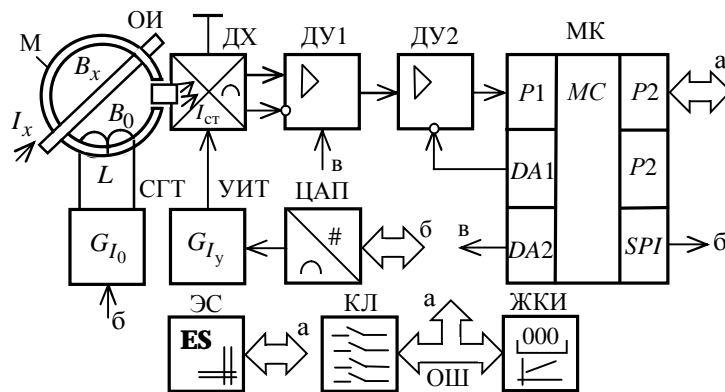


Рис. 1. Функциональная схема цифрового измерителя тока

Согласно поставленной задаче, магнитные поля напряженностью B_x и B_0 воздействуют на чувствительный элемент датчика Холла ДХ, расположенный в зазоре кольцеобразного магнитопровода М. На токовый вход ДХ поступает ток управления I_y , значение которого регламентируется паспортными данными на используемый датчик Холла.

В первом такте в напряжение U_1 преобразуется э. д. с. Холла E_{x1} , пропорциональная напряженности магнитного поля B_x при токе управления I_{y1} ($\{I_{y1}\} = \{I_y\}$). Во втором такте в напряжение U_2 преобразуется э. д. с. Холла E_{x2} , пропорциональная напряженности магнитного поля B_x , но при токе I_{y2} ($\{I_{y2}\} = k_L \{I_y\}$). Изменение значения тока управления осуществляется напряжением, поступающим на

управляющий вход стабилизированного источника тока УИТ с выхода порта «DA2» микроконтроллера МК. В третьем такте в напряжение U_3 преобразуется э. д. с. Холла E_{x3} , пропорциональная напряженности B_3 $\{B_3\} = \{B_x\} + \{B_0\}$ суммарного магнитного поля. И, наконец, в четвертом такте в напряжение U_4 преобразуется э. д. с. Холла E_{x4} , пропорциональная напряженности B_3 суммарного магнитного поля, но при токе I_{y2} . Полученные напряжения обрабатываются согласно уравнениям избыточных измерений (5), ..., (9).

Особенностью путей и методов решения метрологических задач с приписываемой объекту измерений математической моделью является возможность методов избыточных измерений естественным образом исключать влияние на конечный результат измерений как абсолютных значений параметров функции преобразования измерительного канала и их изменений под действием внешних дестабилизирующих факторов, так и влияние тока управления I_y , постоянной Холла, коэффициента пропорциональности k_{Π} и толщины d_0 полупроводниковой пластины датчика Холла.

Определение параметров функции преобразования измерительного канала дает возможность контролировать изменение во времени состояния измерительного канала по соответствующим изменениям значений крутизны преобразования S'_Π и смещения $\Delta U'_\Pi$ и своевременно решать задачи оценки метрологической надежности цифрового измерителя тока.

Метрологическая задача 11

Решение описанной выше метрологической задачи рассмотрим для случая, когда диапазон измеряемых значений напряженности магнитного поля ограничен сверху значением $\{B_{\max}\} = \{B_x\} + \{B_0\}$. Увеличение значения тока управления в k_Π раз не должно приводить к превышению максимального значения напряженности магнитного поля. В этом случае рекомендуется использовать минимальное число рядов физических величин, т.е. B_x , $k_\Pi B_x$ и $B_x + B_0$, размеры которых связаны между собой по закону арифметической и геометрической прогрессий. В результате получают систему из трех линейных уравнений величин:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_\Pi R_x I_y B_x / d_0 + \Delta U'_\Pi, \\ U_2 &= S'_\Pi R_x k_\Pi I_y B_x / d_0 + \Delta U'_\Pi, \\ U_3 &= S'_\Pi R_x I_y (B_x + B_0) / d_0 + \Delta U'_\Pi, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

описывающих состояние измерительной системы в дискретные моменты времени.

Для вывода уравнения избыточных измерений действующего значения тока находят отношение разностей второго и первого, третьего и первого уравнений величин системы (11).

В результате решения получают уравнение избыточных измерений

$$I_x = \frac{B_x}{k_\Pi} = \frac{B_0}{k_\Pi} \frac{1}{k_\Pi - 1} \frac{U_2 - U_1}{U_3 - U_1} \quad (12)$$

с меньшим числом вычислительных операций, т.е. более простое, чем в предыдущей задаче.

В данной задаче крутизна преобразования определяется по уравнению избыточных измерений (6), а смещение функции преобразования — по уравнению избыточных измерений

$$\Delta U'_\Pi = U_1 - \frac{U_2 - U_1}{k_\Pi - 1} = \frac{k_\Pi U_1 - U_2}{k_\Pi - 1} \quad (13)$$

Обработка результатов промежуточных измерительных преобразований согласно (12) обеспечивает автоматическое исключение систематических погрешностей определения действительного значения постоянного тока высоковольтной линии электропередач. Получение информации о параметрах линейной функции преобразования позволяет вовремя осуществить их коррекцию и, там самым, обеспечить безотказную (с метрологической точки зрения) работу цифрового измерителя тока, реализующего метод избыточных измерений с приведенными выше математическими моделями.

В качестве информативно-избыточной модели измерительного канала может быть использована формализованная модель вида:

$$E_{xxi} \Big|_{i=1}^{i=3} \begin{matrix} E_x \\ \Rightarrow \\ B_x I_y \end{matrix} \Rightarrow U_{\Pi i} \Big|_{\tau_{\text{пр}} \leq 1 \text{мс}}^{\% \leq 1 \text{ppm/час}} = S'_\Pi \begin{matrix} E_{xi} \\ \uparrow U_s \end{matrix} + \Delta U'_\Pi \Big|_{\uparrow U_\Delta} \left| \begin{matrix} k_{\text{yc}} \cong 1 \cdot 10^3 \\ \Delta U_\Pi = 1 \cdot 10^{-3} \text{ В} \\ \Delta f = 50 \text{ кГц} \end{matrix} \right. \Rightarrow \begin{matrix} \text{АЦП14} \\ f_d = 10 \text{ кГц} \end{matrix} N_i \Big|_{i=1}^{i=3} \quad (14)$$

которая отличается от формализованной модели (10) только числом преобразуемых физических величин.

Реализация данного метода избыточных измерений осуществима с помощью цифрового измерителя тока, функциональная схема которого приведена выше.

Метрологическая задача 12

Если в высоковольтной линии электропередачи течет переменный ток, то соответствующее магнитное поле также будет переменным, т.е. $B_x(t) = k_{\Pi} i_x(t)$. В этом случае измерительное преобразование напряженности магнитного поля в э. д. с. Холла целесообразно осуществлять в течение заданного (нормированного) интервала времени Δt_0 . В результате получают следующую систему линейных уравнений величин, связывающих э. д. с. Холла с напряженностью переменного магнитного поля:

$$\left. \begin{aligned} E_{x1cp} &= \frac{R_x I_y}{d_0} B_x(t) \Big|_{за \Delta t_0}, \\ E_{x2cp} &= \frac{R_x k_{\Pi} I_y}{d_0} \overline{B_x(t)} \Big|_{за \Delta t_0}, \\ E_{x3cp} &= \frac{R_x I_y}{d_0} \left(B_0 + \overline{B_x(t)} \Big|_{за \Delta t_0} \right), \\ E_{x4cp} &= \frac{R_x k_{\Pi} I_y}{d_0} \left(B_0 + \overline{B_x(t)} \Big|_{за \Delta t_0} \right) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Выбор длительности интервала времени Δt_0 зависит от времени последующей обработки «пачек» э. д. с. Холла.

Система линейных уравнений величин, описывающая состояние измерительной системы, примет вид:

$$\left. \begin{aligned} U_{1cp} &= S'_{\Pi} E_{x1cp} + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_{2cp} &= S'_{\Pi} E_{x2cp} + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_{3cp} &= S'_{\Pi} E_{x3cp} + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_{4cp} &= S'_{\Pi} E_{x4cp} + \Delta U'_{\Pi}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Согласно (15) и (16), в каждом такте получают «пачки» переменных сигналов. Во всех тактах длительность Δt_0 пачки постоянна, а ее начальный и конечный моменты времени привязывают к моментам времени перехода исследуемого сигнала через нулевое значение. По истечении четырех тактов измерительного преобразования сигналы «пачек» обрабатываются с целью получения амплитудного, среднего или действующего значения переменного тока высоковольтной линии электропередач. Обработка может осуществляться двумя способами:

1) непосредственно, — путем соответствующего аналогового детектирования «пачек» сигналов и получения постоянных напряжений U_1, U_2, U_3, U_4 , которые затем обрабатываются согласно уравнениям избыточных измерений (5) и (12);

2) опосредованно, — путем аналого-цифрового преобразования этих сигналов и двухэтапной цифровой обработке, — по уравнениям числовых значений, обеспечивающим получение амплитудного, среднего или действующего значения переменного тока высоковольтной линии электропередач в виде кодов чисел с последующей их вторичной обработкой по уравнениям числовых значений вида

$$N_{B_x} = N_{B_0} \frac{N_2 - N_1}{(N_4 - N_3) - (N_2 - N_1)} \quad (17)$$

или

$$N_{B_x} = N_{B_0} \frac{1}{k_{\Pi} - 1} \frac{N_2 - N_1}{N_3 - N_1}. \quad (18)$$

При наличии стационарных помех и наводок дополнительно используется статистическая обработка действующих значений сигналов в каждой «пачке».

Так, например, при $\Delta t_0 = 1$ с, каждая «пачка» содержит, при частоте переменного тока линии электропередач, равной 50 Гц, по 50 действующих значений сигнала, которые статистически обрабатываются известным способом.

Для решения задачи проектирования измерительной системы рекомендуется использование информативно-избыточной модели вида:

$$E_{x_{xi}} \Big|_{i=1}^{i=2} \begin{matrix} E_x \\ \Rightarrow \\ U_{\Pi} \\ \Rightarrow \\ B_x I_y \end{matrix} \Big|_{\substack{\% \leq 1 \text{ ppm/час} \\ \tau_{\text{нр}} \leq 1 \text{ мс}}} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (S'_{\Pi} E_{xi} + \Delta U'_{\Pi}) dt \Big|_{\substack{k_{\text{yc}} \cong 2 \cdot 10^3 \\ \Delta U_{\Pi} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ В} \\ \Delta f = 50 \text{ кГц}}} \begin{matrix} \text{АЦП14} \\ \Rightarrow \\ N_{xi} \Big|_{i=1}^{i=4} \\ f_{\text{д}} = 10 \text{ кГц} \end{matrix} \quad (19)$$

Реализация описанного метода избыточных измерений осуществима с помощью цифрового измерителя тока, функциональная схема которого приведена на рисунке.

Метрологическая задача 13

Рассмотрим вариант решения метрологической задачи для случая, когда возможно физическое отключение (обесточивание) высоковольтной линии электропередач или исключение иным способом действия на датчик Холла электромагнитного поля, создаваемого, например, постоянным током высоковольтной линии электропередач.

Возможность обесточивания линии электропередач позволяет упростить решение данной метрологической задачи. В этом случае, с целью достижения минимальной систематической погрешности, используются ряды физических величин, размеры которых составляют геометрические прогрессии, т.е. B_0 и $k_{л}B_0$, B_x и $k_{л}B_x$. Получение второй и четвертой физических величин достигается путем изменения тока управления датчиком Холла в $k_{л}$ раз.

Состояние измерительной системы для рассматриваемого случая опишется системой линейных уравнений величин:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_л R_x I_y B_0 / d_0 + \Delta U'_л, \\ U_2 &= S'_л k_{л} R_x I_y B_0 / d_0 + \Delta U'_л, \\ U_3 &= S'_л R_x I_y B_x / d_0 + \Delta U'_л, \\ U_4 &= S'_л k_{л} R_x I_y B_x / d_0 + \Delta U'_л. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Напряженность магнитного поля в проводнике, т.е. результат измерений действительного значения тока опишется уравнением избыточных измерений вида (с учетом, что $B_x = k_{л} I_x$)

$$I_x = \frac{B_x}{k_{л}} = \frac{B_0}{k_{л}} \frac{U_4 - U_3}{U_2 - U_1}. \quad (21)$$

При неизвестном значении коэффициента пропорциональности $k_{л}$, последний определяется при установленном опорном значении тока $I_x = I_{оп}$ в соответствии с уравнением избыточных измерений

$$k_{л} = \frac{B_0}{I_{оп}} \frac{U_4 - U_3}{U_2 - U_1}. \quad (22)$$

Крутизна преобразования или чувствительность измерительного канала определяется по уравнению избыточных измерений

$$S'_л = d_0 \frac{U_2 - U_1}{(k_{л} - 1) R_x I_y B_0}, \quad (23)$$

а смещение функции преобразования — по уравнению избыточных измерений вида (13).

Данный метод избыточных измерений также обеспечивает высокоточное определение искомых величин и параметров.

В качестве информативно-избыточной модели измерительного канала может быть использована формализованная модель вида

$$\begin{array}{l} \mathbf{E}_{xxi} \Big|_{i=1}^{i=4} \xrightarrow{E_x} U_{ли} \Big|_{\tau_{пр} \leq 1 \text{ мс}}^{\% \leq 1 \text{ ppm/час}} = S'_л E_{x_i} + \Delta U'_л \Big|_{\substack{k_{yc} \cong 1 \cdot 10^3 \\ \Delta U_{л} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ В} \\ \Delta f = 50 \text{ кГц}}} \xrightarrow{\substack{\text{АЦП14} \\ f_{д} = 10 \text{ кГц}}} N_i \Big|_{i=1}^{i=4}. \end{array} \quad (24)$$

Реализация описанной задачи избыточных измерений постоянного тока высоковольтной линии электропередач также может быть осуществлена с помощью цифрового измерителя тока, функциональная схема которого приведена на рисунке. Особенностью указанного технического решения является возможность реализации не одного, а нескольких методов избыточных измерений без изменения его структуры. Изменяется только программное обеспечение.

Полученные результаты избыточных измерений крутизны и смещения функции преобразования измерительного канала используются для осуществления метрологического самоконтроля цифрового измерителя тока. Для этого, по команде с микроконвертора МК, компенсирующее напряжение с аналогового выхода порта DA1 поступает на инверсный вход второго дифференциального усилителя ДУ2 и, по заданной программе, осуществляется изменение напряжения смещения измерительного канала до получения номинального значения $\{\Delta U_{л}\}$. Затем, с аналогового выхода порта DA2, на вход управления коэффициентом усиления ДУ1 поступает другое компенсирующее напряжение. С его помощью, по команде с микроконвертора МК, осуществляется изменение значения крутизны преобразования (коэффициента усиления) до номинального значения $S_{л}$. После этого осуществляется дополнительное определение параметров линейной функции преобразования согласно соответствующим уравнениям избыточных измерений. По результатам сравнения и при необходимости осуществляется дополнительная «тонкая» подстройка значений параметров до выполнения равенства текущих и номинальных значений.

Выводы

Описаны пути и методы решения метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного действия, — действующего значения тока, с приписываемой объекту измерений математической моделью и при линейной функции преобразования измерительного канала. В рассмотренных методах решалась также задача контроля текущего состояния измерительного канала с целью обеспечения и поддержки метрологической сверхнадежности интеллектуальной измерительной системы «ОИ – СИИ», — цифрового измерителя тока высоковольтной линии электропередач.

Рассмотрены методы избыточных измерений при условии невозможности формирования физической величины нулевого размера.

Показано, что результат избыточных измерений действующего значения тока не зависит как абсолютных значений параметров измерительного канала и их отклонения от номинальных значений в процессе эксплуатации и старения его элементов и функциональных блоков, так и от Э.Д.С. Холла, от постоянной R_x Холла, от толщины d_0 полупроводниковой пластины датчика Холла, а также от параметров S'_d и $\Delta U'_d$ линейной функции преобразования измерительного канала. Благодаря этому достигается высокая точность измерений.

Рассмотрены четыре варианта решения метрологической задачи, отличающиеся между собой способами формирования рядов измеряемых физических величин, размеры которых составляют арифметическую и/или геометрическую прогрессии.

Приведено решение метрологической задачи для случая, когда диапазон измеряемых значений напряженности магнитного поля ограничен сверху значением $\{B_{\max}\} = \{B_x\} + \{B_0\}$. В этом случае рекомендовано использовать минимальное число рядов физических величин — B_x , $k_d B_x$ и $B_x + B_0$, размеры которых связаны между собой по закону арифметической и геометрической прогрессий. Максимальное число рядов физических величин составляет четыре.

Только избыточные измерения позволяют осуществить решение метрологических задач. Получение дополнительной информации о параметрах линейной функции преобразования дает возможность вовремя осуществить их коррекцию и, там, самым, обеспечить метрологическую сверхнадежность работы соответствующей измерительной системы.

Разработано техническое решение цифрового измерителя тока высоковольтной линии электропередач, которое обеспечивает реализацию не одного, а нескольких методов избыточных измерений без изменения его структуры. Меняется только программное обеспечение по реализации того или иного метода.

Для каждого технического решения измерительного канала приведены формализованные информативно-избыточной модели измерительного канала. Они устанавливают положительную обратную связь между разработчиками методов и средств измерений и являются важным атрибутом при создании высокоточных измерительных систем.

Работа представляет интерес для специалистов, работающих в области избыточных и метрологически надежных измерений действующего значения тока в высоковольтных линиях электропередач, для магистров и аспирантов, изучающих решение прикладных задач избыточных измерений величин направленного действия.

Литература

1. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений: решение метрологических задач при линейной функции преобразования измерительного канала. Сообщение 1.1 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2012. — № 4. — С. 125-137.
2. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений: решение метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного действия без приписываемой объекту измерений математической модели. Сообщение 1.2 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2012. — № 5 — С. 183-193.
3. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений: решение метрологических задач избыточных измерений физических величин ненаправленного действия без приписываемой объекту измерений математической модели. Сообщение 1.3 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2012.— № 6. — стр.174-183.
4. Кондратов В. Т. Теория и методы избыточных измерений / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2012. — № 3. — С. 14-22.
5. Научно-исследовательский институт «Полус». Лазерные диоды непрерывного режима генерации. Режим доступа: <http://www.polyus.msk.ru/RU/ldioderu.html>.
6. Облучение. Режим доступа: <http://light.jino.ru/obluchenie/obluch/g11.htm>.

Надійшла 26.1.2013 р.

Статтю представляє: д.т.н. Кондратов В.Т.

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НЕЙРОСЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ С ОДНИМ СКРЫТЫМ СЛОЕМ НЕЙРОНОВ ОТ ГЛАДКОСТИ ЕЁ ОБУЧЕНИЯ НА ЗАШУМЛЕННЫХ КОПИЯХ АЛФАВИТА ОБРАЗОВ

Рассматривается нейросеть с прямой связью с одним скрытым слоем нейронов, предназначенная для распознавания монохромных изображений небольшого формата. Исследуется зависимость производительности такой нейросети от гладкости её обучения, определяемой в смысле частоты разбиения отрезка среднего квадратического отклонения шума для генерирования и подачи зашумленных изображений на вход. Полученные по достаточно объёмным тестированиям нейросети результаты свидетельствуют о том, что производительность нейросети при сглаживании процесса обучения повышается, однако при этом процесс обучения значительно замедляется. В средах с более мощными вычислительными ресурсами это замедление предполагается менее ощутимым, поэтому там общая функциональность нейросети при гладком обучении будет улучшена.

Ключевые слова: нейросеть, распознавание образов, обучение, гладкое обучение, производительность, скорость обучения.

There is considered the feed-forward neuronet with single hidden layer, assigned for recognition of monochrome images of a not large format. There is investigated the dependence of such neuronet performance against its training smoothness, defined in the sense of break frequency for noise mean-square deviation segment in generating and feeding the input with noised images. The obtained results after enough-voluminous neuronet testings are evidence that neuronet performance by smoothing the training process improves, but at that the training process slows down conspicuously. Within environments with more powerful computational resources this deceleration is surmised to be less perceptible, and so the general neuronet functionality there by the smooth training will be improved.

Keywords: neural network, pattern recognition, learning, smooth learning, performance, speed of learning.

Проблема подстройки параметров нейронной сети

Известно, что искусственная нейронная сеть имеет достаточно большое множество регулируемых свойств и макропараметров: тип архитектуры, объёмность скрытого слоя нейронов, количество входов и выходов, специфика метода обучения [1, 2]. Поиск методов оптимальной настройки параметров нейронных сетей на сегодня вырос в очень сложную проблему, напоминающую задачу подбора наилучшего варианта обучения в более глобальном масштабе [3, 4]. Основным критерием оптимального выбора нейросетевого объекта является максимизация его производительности, выражаемая не только в числовых векторах, но и в корректно свёрнутых в одну точку значениях. Однако влияние нескольких макропараметров нейронной сети в совокупности даже на свёрнутое в одну точку значение производительности неизвестно [1], из-за чего приходится изучать подстройку каждого параметра в отдельности.

Метод подстройки параметра нейронной сети

Естественным методом подстройки параметра искусственной нейронной сети является программирование и циклическая прогонка её функционирования в пределах некоторого интервала или множества значений (свойств или атрибутов) исследуемого параметра [1]. Когда удаётся найти то значение (свойство или атрибут) параметра, при котором средняя производительность нейронной сети достигает максимального уровня, тогда это значение считается оптимальным и используется в дальнейшем [1, 3, 5]. Впрочем, не исключено, что подстроенное значение или свойство исследуемого параметра окажется менее эффективным при функционировании нейронной сети с несколько изменёнными входными данными (образами или объектами для исследования и принятия решений). Следовательно, надёжность подстройки параметра искусственной нейронной сети зависит от разнообразия решаемых ею задач [2, 5, 6]. Особенно это ощутимо в процессах обучения, где даже незначительное изменение класса входных данных требует переобучения или дообучения нейросети, поскольку иначе она будет работать непродуктивно. И именно качество процесса обучения определяет основные свойства продуктивности нейросетевого исследования. В частности, для задачи распознавания образов, подаваемых в основном в зашумленном виде, очень важно найти свойство или атрибут процесса обучения, наиболее остро воздействующие на его результаты.

Постановка задачи

Рассмотрим простую нейронную сеть с прямой связью с одним скрытым слоем нейронов, предназначенную для распознавания монохромных изображений. Общее количество изображений равняется 26. Каждое изображение представляется в форме 7×5 -матрицы с элементами 1 и 0. Для решения задачи распознавания спроектируем нейронную сеть с прямой связью и с одним скрытым слоем из 10 нейронов в среде Matlab 7.0.1 с помощью стандартного демо-скрипта "appcr1" [7, с. 199 — 206] из инструмента Matlab Neural Network Toolbox. Сеть должна научиться распознавать не только 26 эталонных мини-изображений, но и их зашумленные варианты, где шум отождествляется с естественными изменениями эталонов, приводящих к их отличиям от входных образов. Для этого нейросеть сначала обучается на множестве незашумленных эталонных изображений, а потом к этим эталонам прибавляют гауссов шум [5, 8], и входными образами для обучающейся нейросети уже служат зашумленные 26 монохромных изображений.

Уровень шума лежит в известных пределах, при которых нейросеть ещё способна давать приемлемую производительность. Изменяя его от нулевого значения до предельно максимального с некоторым шагом, нейросеть обучается распознавать расширенный класс монохромных изображений на основе исходных 26. Необходимо выяснить, как этот шаг влияет на качество обучения, то есть, зависит ли и, если зависит, то насколько, производительность нейросети от ступенчатости (гладкости) обучения.

Исследование зависимости производительности нейросети от гладкости обучения

Нейросеть должна безошибочно распознавать идеальные векторизованные входные образы и с максимальной точностью воспроизводить зашумленные эталоны. С целью этого исследуемую нейросеть обучают с применением двух идеальных и двух зашумленных копий алфавита из 26 векторизованных входных образов [7, с. 203]. Таким образом, во время обучения на вход нейросети поступает множество

$$P_{\text{train}} = \{P_i\}_{i=1}^4 = \{A, A, A_1, A_2\} \quad (1)$$

из 35×26 -матрицы A всех эталонов, а также матриц

$$A_1 = A + \sigma_1 \Xi, \quad A_2 = A + \sigma_2 \Xi, \quad (2)$$

формируемых при некоторых средних квадратических отклонениях $0 < \sigma_1 < \sigma_2$ для 35×26 -матрицы Ξ из значений нормально распределённой случайной величины с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Поскольку предполагается, что среднее квадратическое отклонение шума не превосходит 0.2 [7, с. 200], то естественным образом полагают $\sigma_2 = 0.2$ и, как следствие элементарного усреднения, $\sigma_1 = 0.1$. Во множество целевых матриц (идентификаторов распознавания)

$$T = \{T_i\}_{i=1}^4 = \{I, I, I, I\} \quad (3)$$

входит только единичная 26×26 -матрица I , и множество (3) обеспечивает идентификацию каждого столбика матриц множества (1). Процедура отклика нейросети на входное множество (1) с элементами (2) при идентификаторе (3) повторяется K раз. В демо-скрипте “appcr1” эмпирически положено $K = 10$, чего вполне достаточно для качественной работы нейросети.

Зависимость производительности нейросети от уровня шума $\sigma > 0$ на её входе

$$P = \{A + \sigma \Xi\} \quad (4)$$

понимается как среднестатистический процент ошибок распознавания (СПОР) $\gamma(\sigma, N)$, зависящий ещё и от объёма N тестирования нейросети. При этом полезно сравнивать функцию $\gamma(\sigma, N)$ с аналогичной функций распознавания $\gamma_0(\sigma, N)$, производимой нейросетью, которая была обучена в бесшумных условиях. На рис. 1 — 4 показаны статистические кривые $\gamma(\sigma, N)$ и $\gamma_0(\sigma, N)$, полученные тестированием нейросети, обученной Matlab-методом `traindga` по множеству (1) и с множеством идентификаторов (3). Как видим из рис. 1, 2 и 4, чёткая эффективность обучения нейросети по множеству (1) отслеживается лишь при $\sigma > 0.2$, чего, кстати, не предусматривает постановка задачи, так что для неё это преимущество перед бесшумным обучением оказывается невостребованным. А на рис. 2 и 4 изображён статистический случай того, когда при $\sigma < 0.18$ обучение по множеству (1) вообще неэффективно, поскольку СПОР нейросети, обученной в бесшумных условиях, здесь зафиксирован меньшим.

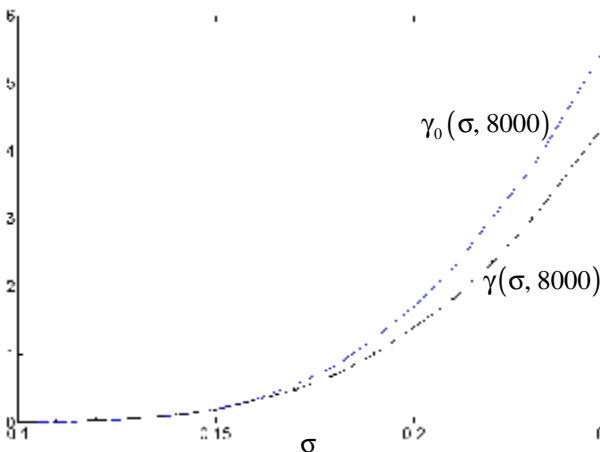


Рис. 1. СПОР нейросети, обученной по множеству (1), с общим временем функционирования 1221.438 с

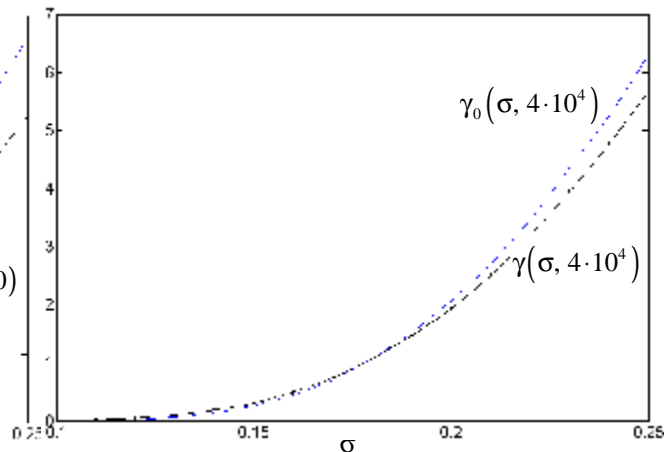


Рис. 2. СПОР нейросети, обученной по множеству (1), с общим временем функционирования 6068.39 с

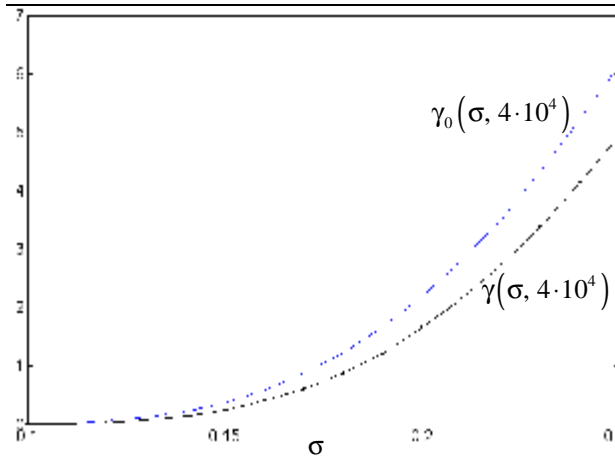


Рис. 3. СПОР нейросети, обученной по множеству (1), с общим временем функционирования 6110.937 с

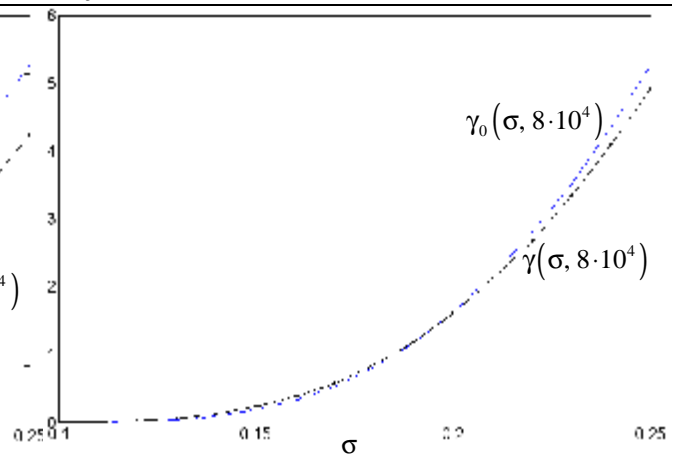


Рис. 4. СПОР нейросети, обученной по множеству (1), с общим временем функционирования 12190.921 с

Статистические кривые $\gamma(\sigma, N)$ и $\gamma_0(\sigma, N)$, полученные тестированием нейросети, обученной Matlab-методом `traingda` по множеству

$$P_{\text{train}}^0 = \{P_i^0\}_{i=1}^{10} = \{A, A, \{A_k\}_{k=1}^8\} \tag{5}$$

из 35×26 -матрицы A всех эталонов и матриц

$$A_k = A + \sigma_k \Xi \tag{6}$$

при

$$\sigma_k = 0.025k \quad \forall k = \overline{1, 8} \tag{7}$$

с множеством

$$T = \{T_i\}_{i=1}^{10} = \{I, I, I, I, I, I, I, I, I, I\} \tag{8}$$

идентификаторов распознавания, показаны на рис. 5 — 8. И, как следует из рис. 5 — 7, обучение нейросети по множеству (5) является эффективным для $\sigma > 0.12$, но на рис. 8 изображён статистический случай того, что только при $\sigma > 0.15$ такое обучение предпочтительно. Тем не менее, сравнивая кривые $\gamma(\sigma, N)$ при $N \in \{8000, 4 \cdot 10^4, 8 \cdot 10^4\}$ на рис. 1 — 4 и рис. 5 — 8, нетрудно убедиться в том, что обучение нейросети по множеству (5) более эффективно по сравнению с обучением по множеству (1). Это наглядно демонстрирует рис. 9 со всеми статистическими кривыми СПОР $\gamma(\sigma, N)$ и $\gamma_0(\sigma, N)$ из рис. 1 — 8 при $N \in \{8000, 4 \cdot 10^4, 8 \cdot 10^4\}$. При том время, затраченное на более гладкое обучение по (5) — (8) и тестирование нейросети, вполне сравнимо со временем её жёсткого обучения по (1) — (3) и тестирования, а для самого длинного статистического наблюдения с $N = 8 \cdot 10^4$ более гладко обученная нейросеть функционировала в общей сложности быстрее на 24 с (рис. 4 и рис. 8).

Несомненно, исследованный пример свидетельствует о том, что производительность нейросети зависит от гладкости её обучения, где под гладкостью следует понимать частоту разбиения предполагаемого отрезка среднего квадратического отклонения шума, в точках которого будет сгенерирован соответствующий шум для входа (4). Но в данном случае обучение нейросети Matlab-методом `traingda` по множеству (5) из (6) при (7) с множеством идентификаторов (8) не обязательно является оптимальным решением или близким к таковому. Вероятно, для каждой задачи распознавания монохромных изображений или, вообще говоря, распознавания образов при предполагаемом максимальном среднем квадратическом отклонении шума σ_{max} существуют такие $C \in \square$ и $F \in \square$, что обучение нейросети некоторым методом по множеству

$$P_{\text{train}}^0 = \{P_i^0\}_{i=1}^{C+F} = \{\{A\}_{i=1}^C, \{A_k\}_{k=1}^F\} \tag{9}$$

из C матриц A всех эталонов и матриц

$$\mathbf{A}_k = \mathbf{A} + \sigma_k \Xi$$

зашумлених образів при

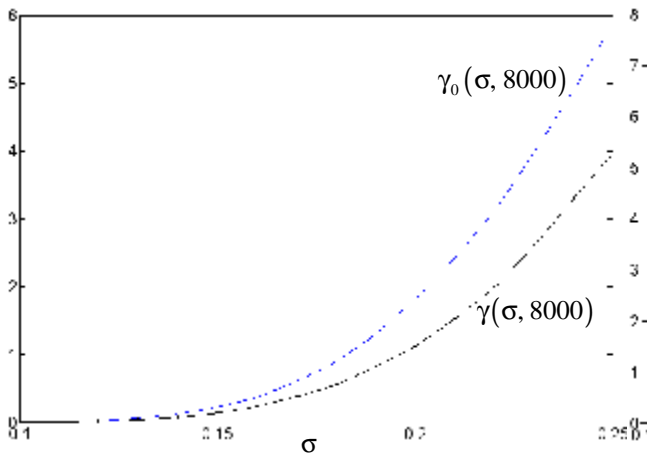


Рис. 5. СПОР нейросети, обученной по множеству (5), с общим временем функционирования 1234.25 с

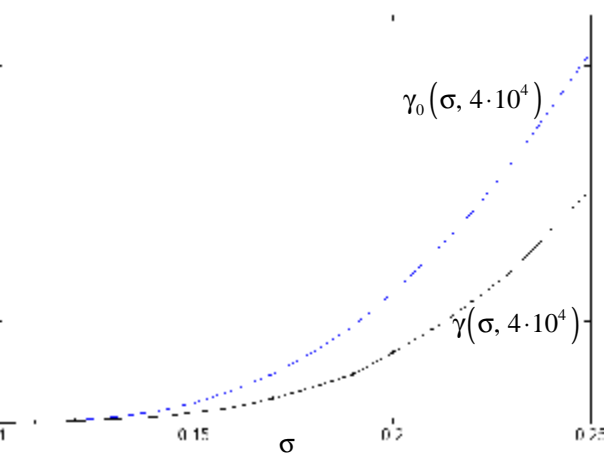


Рис. 6. СПОР нейросети, обученной по множеству (5), с общим временем функционирования 6071.75 с

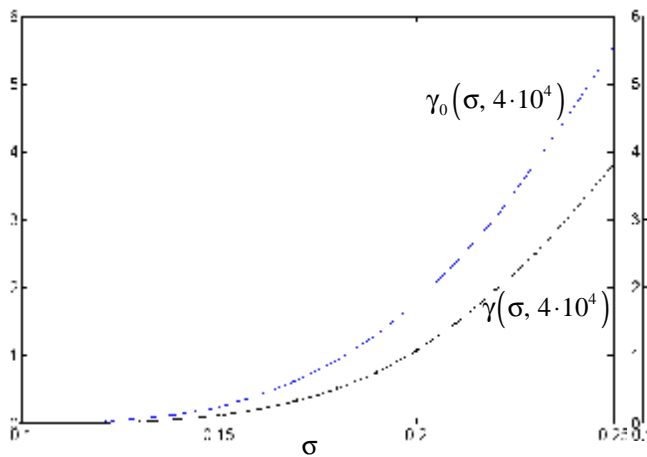


Рис. 7. СПОР нейросети, обученной по множеству (5), с общим временем функционирования 6109.328 с

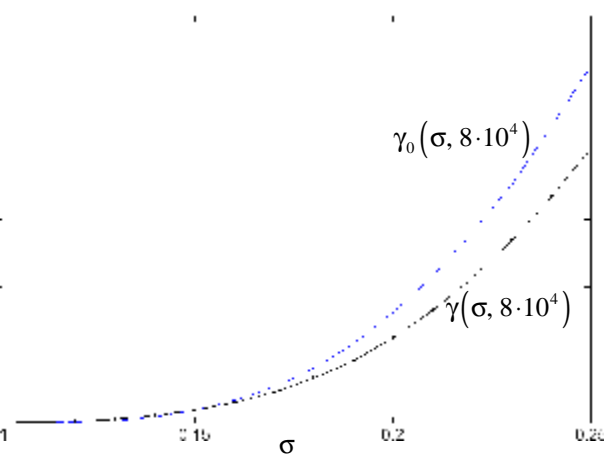


Рис. 8. СПОР нейросети, обученной по множеству (5), с общим временем функционирования 12166.046 с

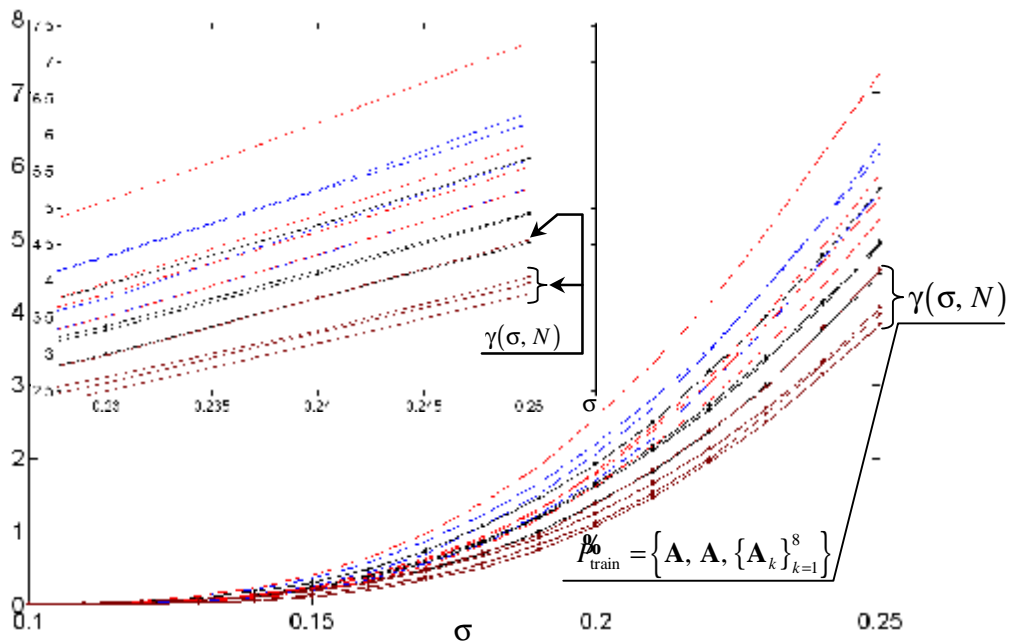


Рис. 9. Все статистические кривые СПОР $\gamma(\sigma, N)$ и $\gamma_0(\sigma, N)$ из рис. 1 — 8 при $N \in \{8000, 4 \cdot 10^4, 8 \cdot 10^4\}$, полученные жёстким обучением нейросети по (1) — (3) и более гладким обучением нейросети по (5) — (8)

$$\sigma_k = \frac{\sigma_{\max}}{F} \cdot k \quad \forall k = \overline{1, F} \quad (11)$$

с множеством

$$T = \{\mathbf{T}_i\}_{i=1}^{C+F} = \{\mathbf{I}\}_{i=1}^{C+F} \quad (12)$$

идентификаторов минимизирует функцию $\gamma(\sigma, N) \quad \forall \sigma \in (0; \sigma_{\max}]$ (при достаточно большом N). Вопрос о том, насколько при этом затягивается процесс обучения, должен изучаться отдельно.

Результаты тестирования нейросети при повышении C не дают оснований считать, что СПОР особо чувствителен к количеству эталонных матриц в (9) на входе нейросети (рис. 10). По крайней мере, более определяющим здесь усматривается число F (рис. 11), где уже при $F = 288$ максимальный СПОР снижается до 2, что практически вдвое меньше максимального СПОР при $F = 8$. Однако рост времени обучения происходит значительно быстрее, чем снижается СПОР (рис. 12), и уже при $F = 288$ нейросеть обучается почти в 65 раз медленнее, чем при $F = 8$.

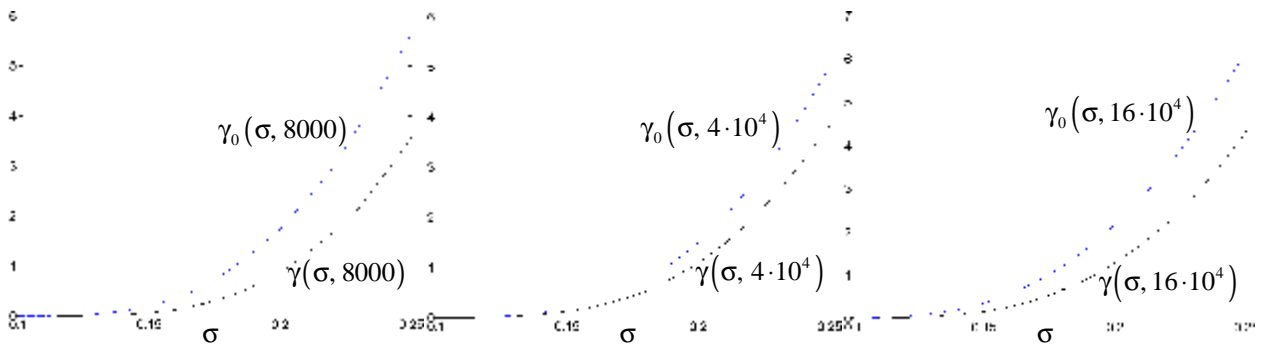


Рис. 10. СПОР нейросети, обученной по множеству (9) при $C = 3$ и $F = 8$ для (10) — (12)

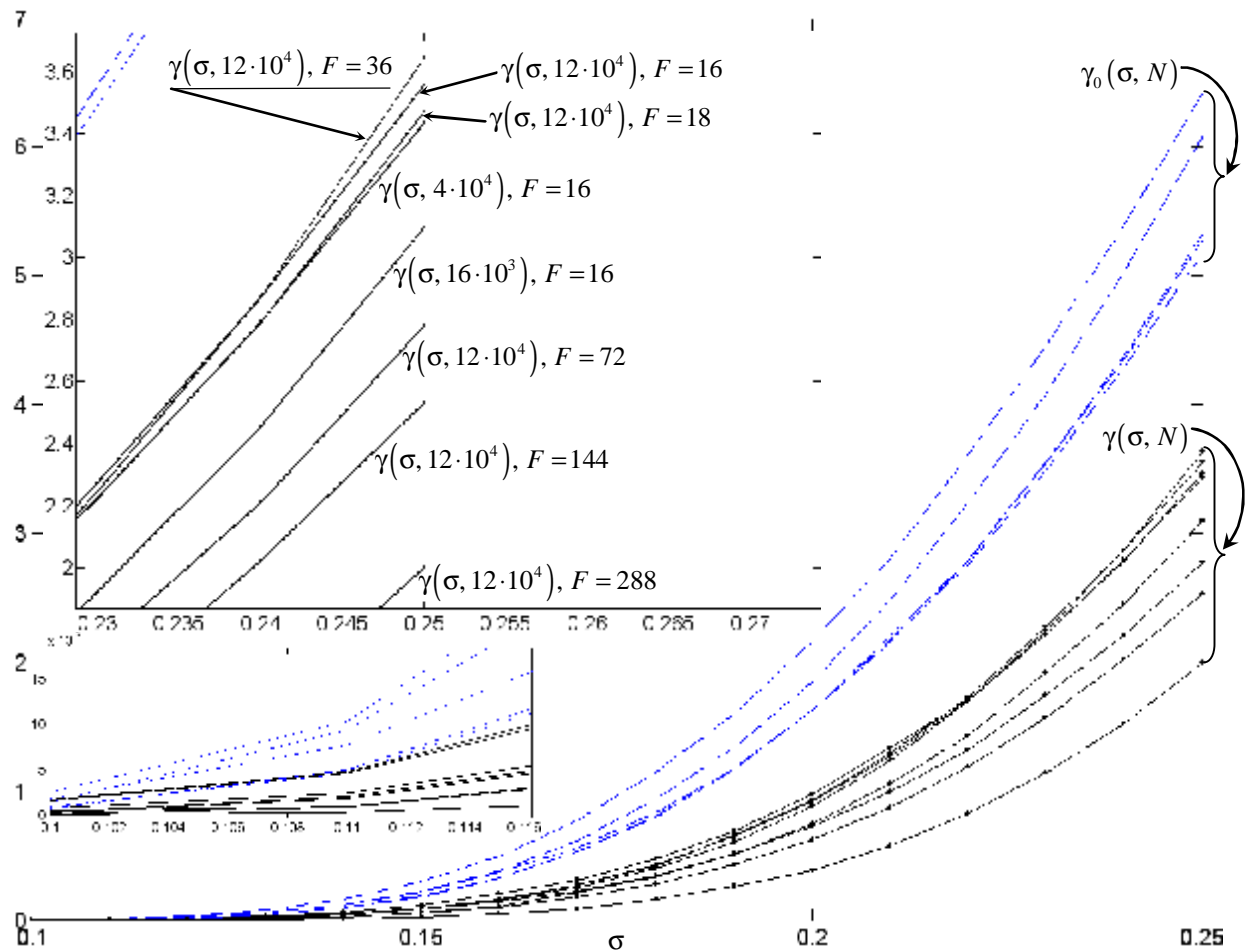


Рис. 11. СПОР нейросети, обученной по множеству (9) при $C = 2$ и различных F для (10) — (12)

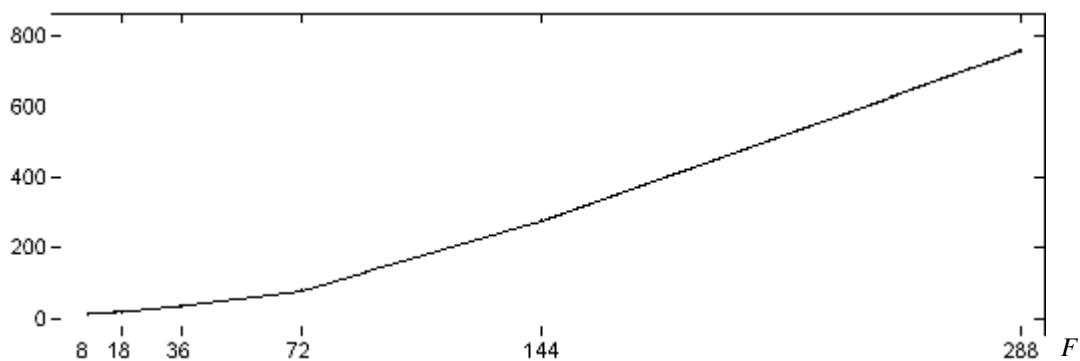


Рис. 12. Ріст середнього часу навчання нейронної мережі для розпізнавання 26 монохромних 7×5 -зображень з збільшенням числа F

Як видно, продуктивність нейронної мережі залежить від гладкості навчання, ідентифікуваної по частоті розбиття F передбачуваного відрізка середнього квадратичного відхилення нормального шуму. Ця залежність виражається, перш за все, в практично лінійному зростанні часу навчання і незначительному зменшенні СПОР при збільшенні F . Такий висновок в більш загальній формулюванні можна розповсюджувати і на інші задачі розпізнавання монохромних зображень з використанням нейронних мереж з прямою зв'язкою і з одним прихованим шаром, де продуктивність нейронної мережі буде підвищуватися при згладженні процесу навчання, який при цьому буде уповільнюватися.

Висновок і перспектива продовження дослідження

Звернемо увагу, що результати тестування нейронної мережі, навченої Matlab-методом *traind*, отримані при 10 нейронах в одному прихованому шарі в середовищі Matlab 7.0.1 з використанням оперативної пам'яті в 512 мегабайт. В більш сучасному середовищі Matlab 7.14 і з використанням більшої пам'яті зростання середнього часу навчання нейронної мережі передбачується не таким інтенсивним, як на рис. 12. Тем не менше, загальна картина протиставлення часу навчання і СПОР повинна зберегтися. Вероятно, вона суттєво не зміниться при збільшенні кількості нейронів, хоча СПОР на деякому інтервалі цього кількості знизиться. Однак тут слід уважливо контролювати процес навчання, так як при зміні початкових параметрів може зрости ймовірність паралічу нейронної мережі або ж для навчання на зашумлених зразках не вистачить епох. В перспективі ці аспекти необхідно вивчати, але перш за все варто зайнятися питанням про кількість повторів K процедур відклику нейронної мережі на вхідне множинство (9) з елементами (10) при (11) з множинством ідентифікаторів (12). В дослідженнях, результати яких зображені на рис. 1 — 11, взято $K=10$. Що вийде при незначительній зміні цього числа з оптимізованою гладкістю навчання, представляє особливий інтерес, оскільки раціонально вибране число повторів K додатково знизить СПОР і одночасно прискорить процес навчання.

Література

1. Хайкін С. Нейронні мережі: повний курс / Хайкін С. — [2-е вид.]. — М. : Видавничий дім «Вільямс», 2006. — 1104 с.
2. Рутковська Д. Нейронні мережі, генетичні алгоритми і нечіткі системи / Рутковська Д. — М. : Горюча лінія — Телеком, 2004. — 452 с.
3. Каллан Р. Основні концепції нейронних мереж / Каллан Р. — М. : Видавничий дім «Вільямс», 2001. — 288 с. : іл.
4. Arulampalam G. A generalized feedforward neural network architecture for classification and regression / G. Arulampalam, A. Bouzerdoum // *Neural Networks*. — 2003. — Volume 16, Issues 5 — 6. — P. 561 — 568.
5. Hagiwara K. Upper bound of the expected training error of neural network regression for a Gaussian noise sequence / K. Hagiwara, T. Hayasaka, N. Toda, S. Usui, K. Kuno // *Neural Networks*. — 2001. — Volume 14, Issue 10. — P. 1419 — 1429.
6. Hagan M. T. *Neural Networks for Control* / M. T. Hagan, H. B. Demuth // *Proceedings of the 1999 American Control Conference*, San Diego, CA. — 1999. — P. 1642 — 1656.
7. Медведєв В. С. Нейронні мережі. MATLAB 6 / В. С. Медведєв, В. Г. Потемкін. — М. : ДІАЛОГ-МІФІ, 2002. — 496 с.
8. Вапник В. Н. Теорія розпізнавання образів / В. Н. Вапник, А. Я. Червоненкіс. — М. : Наука, 1974. — 416 с.

Надійшла 17.1.2013 р.
Рецензент: д. т. н. Сорокатиї Р. В.

УДК 687.016.5:515.1

О.В. ЗАХАРКЕВИЧ

Хмельницький національний університет

ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ГНУЧКОЇ ПЕРЕОРІЄНТАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЖІНОЧОГО ВЕРХНЬОГО ОДЯГУ

Підготовлено вихідні дані для формування концептуальної моделі експертної системи гнучкої переорієнтації виробництва жіночого верхнього одягу та розробки прототипу відповідної експертної системи.

Ключові слова: концептуальна модель, база знань, експертна система, ланцюг перетворення.

This article is devoted to developing of the conceptual model of the expert system for rapid change in production of women's outerwear and developing of the prototype of the appropriate expert system.

Keywords: conceptual model, knowledge base, expert system, a chain of transformation.

Постановка проблеми

З переходом України на ринкові відносини до організації виробництва висуваються нові вимоги: гнучкість, тобто здатність у будь-яку мить перейти на випуск нових видів продукції; оптимальність – здатність функціонувати з найменшими витратами; випуск продукції високої якості і точно у строк.

Організація основного виробництва передбачає вирішення специфічних завдань: поглиблення спеціалізації; удосконалення форм організації виробництва; швидку (гнучку) переорієнтацію виробництва на інші види продукції; забезпечення безперервності, пропорційності та ритмічності виробничого процесу; скорочення тривалості виробничого циклу; удосконалення асортименту продукції та ін. [1].

Структура системи організації підготовки виробництва має бути гнучкою, з найменшою кількістю жорстких зв'язків, здатною швидко перенастроюватися на виконання нових завдань, надання нових послуг і т.п. Мобільність системи є однією із умов швидкого пристосування її до умов ринку. З позицій теорії системного підходу асортимент одягу є складним технічним об'єктом, що має значний об'єм задач по аналізу проектних ситуацій і багатокритеріальності рішення [2].

Переорієнтація виробництва може бути виконана із використанням ланцюгів перетворення жіночого верхнього одягу розроблених автором [3]. Проте вибір конкретного ланцюга із усіх можливих (повний перелік яких становить не один десяток найменувань [3]) є задачею творчою, важко формалізованою і вимагає значного досвіду спеціаліста. При цьому значна доля при прийнятті кінцевого рішення припадає на використання інтуїтивного евристичного підходу до проблеми.

Висока насиченість інформаційного середовища та ризик прийняття неправильного рішення підвищує актуальність використання інформаційних технологій, як засобу підтримки процесу прийняття управлінських рішень [2]. Одним із способів вирішення широкого кола неформалізованих або слабо формалізованих задач є використання методів штучного інтелекту (ШІ) та створення експертних систем (ЕС) [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Науковці всього світу успішно впроваджують елементи штучного інтелекту та ЕС на різних етапах проектування: для оцінки якості креслень конструкції одягу [5], формування промислового асортименту одягу [2], вибору моделей одягу для формування гармонійного зовнішнього образу індивідуальних споживачів [6], розпізнавання типу тілобудови [7], проектування спеціального і корпоративного одягу [8] та ін.

Часто ЕС створюють з використанням попередньо підготовлених спеціальних баз даних (БД) [6; 9]. Такі БД містять необхідні одиничні елементи, що представляють сукупність вихідної інформації для формування бази знань ЕС. До них можна віднести БД «Проектирование Визуального Образа VISUAL VIEU (VV)» [10], БД проектування технологічних процесів швейних підприємств [9].

Процес управління асортиментом одягу частково представлений у окремих модулях САПР одягу, наприклад: «Планування асортименту» – САПР «Грація»; «Планування замовлення», «Календарне планування» – САПР «Julivi». Проте зазвичай такі системи орієнтовані на висококваліфікованого користувача, який використовує власні знання та евристичний підхід до вирішення багатьох задач виробництва у процесі його планування. Окрім того питання швидкої (гнучкої) переорієнтації виробництва на інший вид виробів цілком і повністю залежить від досвіду виконавця.

Постановка мети та задач досліджень

Мета дослідження – сформувати вихідні дані для побудови концептуальної моделі гнучкої переорієнтації виробництва жіночого верхнього одягу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- ідентифікувати задачі експертної системи;
- систематизувати підходи до створення предметного середовища проблемної області.

Виклад основного матеріалу

ЕС – це вузькоспеціалізований складний програмний комплекс, що дозволяє або дуже швидко приймати

стандартні рішення, або на основі тривалого діалогу з користувачем допомагати у виборі рішення [4].

Основними типами діяльності експертних систем є: інтерпретація, прогноз, діагностика, планування, проектування, спостереження, налагодження, ремонт, навчання, управління.

У розробці ЕС приймають участь представники наступних спеціальностей: експерт у проблемній області, інженер по знаннях, програміст. На відміну від традиційного підходу у випадку ЕС розробку програм виконує не програміст, а експерт (за допомогою ЕС), що не володіє програмуванням.

Серцевину ЕС складає база знань, яка накопичується у процесі її побудови. *База знань* – це сукупність одиниць знань, які представляють собою формалізоване за допомогою певного методу представлення знань відображення об'єктів проблемної області та їх взаємозв'язків, дій над об'єктами і, можливо, невизначеностей, з якими ці дії здійснюються. Знання у ЕС виражені у явному вигляді та організовані так, щоб спростити прийняття рішення.

Якщо розглядати знання з точки зору вирішення задач, їх зручно розділити на дві великі категорії: факти та евристику. Факти – це добре відомі для даної предметної області обставини, що висвітлені у підручниках та іншій літературі. Евристика базується на досвіді спеціаліста. Сюди входять способи видалення некорисних знань, способи використання нечіткої інформації.

Для наповнення бази знань експерт описує проблемну область у вигляді сукупності даних та правил. Дані визначають об'єкти, їх характеристики та значення, що існують в області експертизи. Правила визначають способи маніпулювання даними, що характерні для розглядуваної проблемної області.

У ході робіт по створенню ЕС склалась певна технологія їх розробки, що включає шість етапів: ідентифікацію, концептуалізацію, формалізацію, виконання, тестування, досліду експлуатацію.

Ідентифікація задачі полягає у складанні неформального (вербального) опису, в якому вказують: загальні характеристики задачі; часткові задачі, що виділяють всередині загальної; ключові поняття (об'єкти), їх вхідні (вихідні) дані; попередній вигляд рішення, а також знання, що відносять до задачі, яка вирішується.

На етапі **ідентифікації** цілей важливо відрізнити цілі, заради яких створюють ЕС, від задач, які вона має вирішувати. У даному випадку основна мета ЕС, що розробляється, полягає у тиражуванні знань висококваліфікованих експертів для менш кваліфікованих користувачів та пришвидшенні прийняття рішень для гнучкої переорієнтації виробництва жіночого верхнього одягу.

Задачі, які має вирішувати ЕС – це передусім вибір ланцюга перетворення жіночого верхнього одягу, який дозволить якнайдовший час використовувати наявні на підприємстві модельні конструкції із найменшими змінами у конструкторсько-технологічній підготовці виробництва та його організації, забезпечуючи при цьому різноманітність асортименту та задоволення потреб споживачів. Крім того ЕС повинна запропонувати оптимальну базову конструкцію, необхідні модельні зміни і рекомендації щодо поліпшення організації виробництва (за потреби).

На наступному етапі, етапі **концептуалізації**, визначають наступні особливості задачі: типи доступних даних; дані, які вводять і виводять; часткові задачі всередині загальної; стратегії та гіпотези; види взаємозв'язків між об'єктами предметної області; типи використовуваних співвідношень (ієрархія, причина – наслідок, частина – ціле тощо); процеси, що використовують під час рішення; склад знань, що використовують при рішенні задачі; типи обмежень, які накладають на процеси вирішення задачі; склад знань, що використовують для обґрунтування рішень.

Результат **концептуалізації** проблемної області зазвичай фіксують у вигляді наглядних графічних схем на об'єктному, функціональному та поведінковому рівнях моделювання:

- об'єктна модель описує структуру предметної області як сукупності взаємопов'язаних об'єктів;
- функціональна модель відображає дії та перетворення над об'єктами;
- поведінкова модель розглядає взаємодії об'єктів у часовому аспекті.

Об'єктна модель відображає фактуальне знання про склад об'єктів, їх властивостей та зв'язків.

Елементарною одиницею структурного знання є факт, що описує одну властивість або один зв'язок об'єкту, який представляється у вигляді триплету: *Предикат (об'єкт, значення)* [4].

У даному випадку об'єктами є ланцюги перетворення та види виробів, що входять до них [3].

До списку предикатів запропоновано ввести такі поняття як: довжина ланцюга перетворення; кількість видів виробів, що входять до ЛП; коефіцієнт функціонального використання; рекомендована базова конструкція; час розробки окремих видів виробів, що входять до ЛП; відповідність модному напрямку і т.д. Основою вказаного списку є база даних трансформуючих елементів (рис. 1), розроблена у середовищі MsExcel.

Для формування бази даних використані раціональні ЛП [3]. Вони є простими послідовностями, які дозволяють задавати вектор дій у конкретній проектній ситуації, забезпечуючи видозмінну трансформацію жіночого плечового одягу. При чому використання прийомів трансформації можливе на різних етапах життєвого циклу виробів: як під час проектування, так і під час експлуатації. Відповідно залежно від того, на якому етапі планується використовувати обраний ЛП, буде змінюватись сукупність правил, що представляє семантичні відношення між об'єктами предметної області.

Записи однієї таблиці бази даних містять посилання на дані іншої таблиці (див. рис. 1). При цьому записи однієї таблиці логічно пов'язані з іншою. Такі взаємозв'язки таблиць фактично відображають семантичні відношення: причина-наслідок; аргумент-функція; засіб-мета і т.д. Для відображення

семантичних відносин досліджуваного предметного середовища у вигляді концептуальної моделі обрано графічні засоби ER-моделі (entity-relationship model) – моделі "сутність-зв'язок" (рис. 2), яка побудована за допомогою спеціальної підпрограми-конструктора.

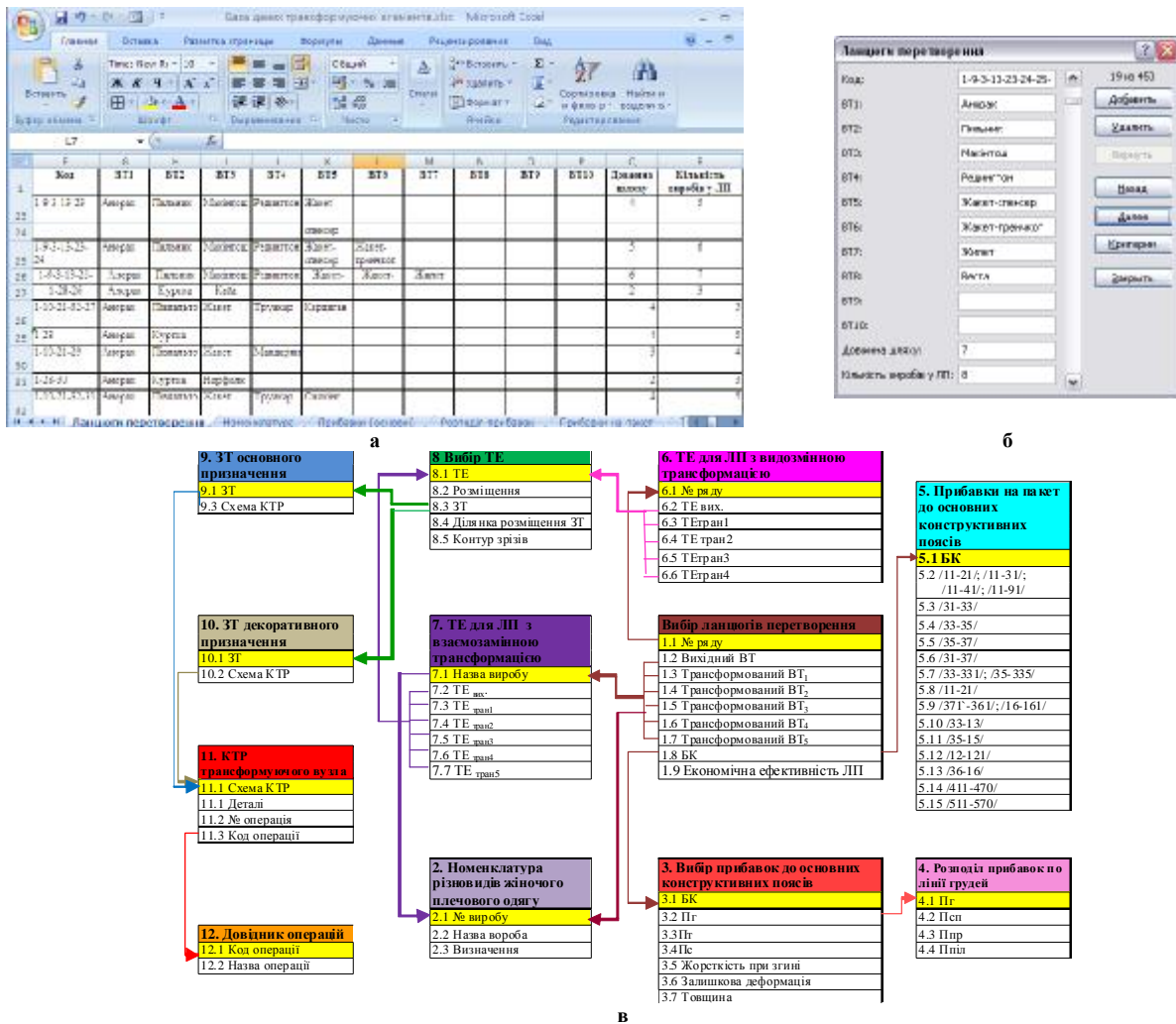


Рис. 1. Фрагмент бази даних: а) лист із номенклатурою ланцюгів перетворення жіночого плечового одягу; б) форма для введення та пошуку даних на листі; в) загальна структура бази даних

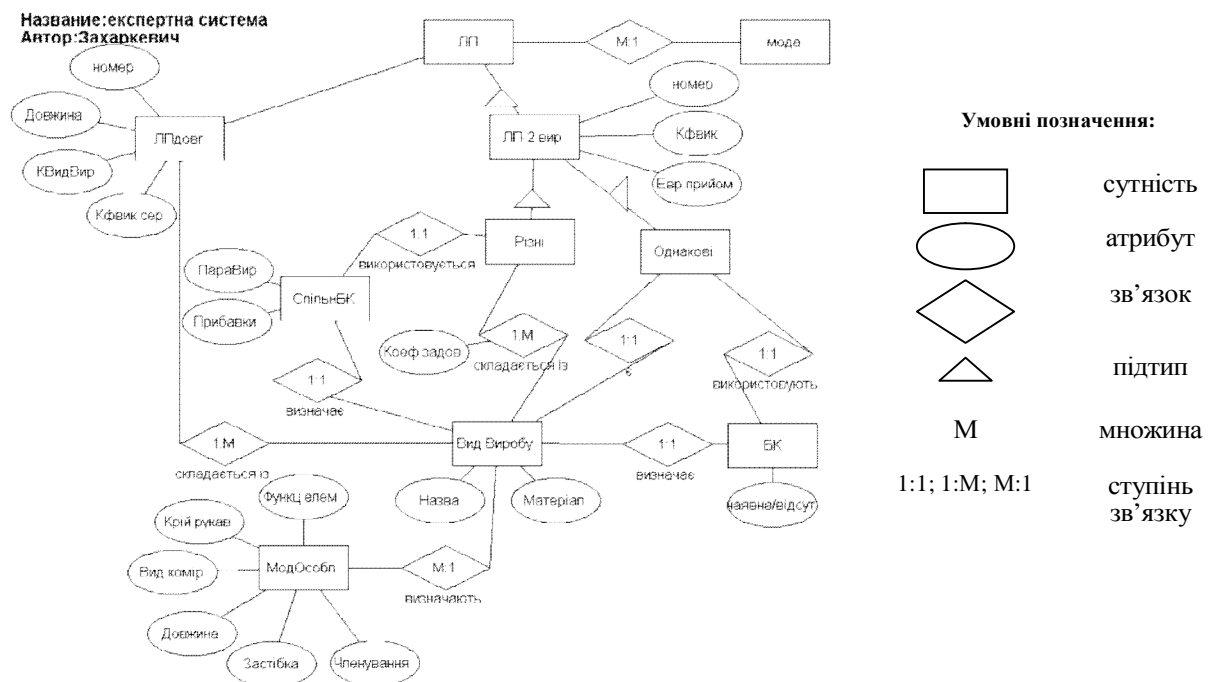


Рис. 2. Приклад концептуалізації проблемної області у вигляді ER-моделі (фрагмент)

Функціональна модель описує перетворення фактів, залежності між ними, що показують, як одні факти утворюються із інших. В основу функціональної моделі, що розробляється, доцільно покласти інформаційну модель етапів вибору прототипу одягу розроблену автором [11]. Тоді в якості одиниці функціонального знання виступатиме функціональна залежність фактів у вигляді імплікації:

$$A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap \dots \cap A_m \rightarrow B, \tag{1}$$

яка означає, що факт вибору ланцюга перетворення ЛП (B) можливий лише в тому випадку, коли має місце кон'юнкція фактів або їх заперечень (відповідність модному напрямку (A_1), достатня величина коефіцієнту функціонального використання (A_2), наявність відповідної базової конструкції (A_3), достатня задоволеність наявною базовою конструкцією виробів, що входять до ЛП (A_m)).

Слід відмітити, що якщо об'єктна модель є фактично сформованою завдяки базі даних трансформуючих елементів, то функціональна (а тим більше поведінкова) містить невідомі на даний момент часу знання. Невідомі знання можуть бути отримані комунікативними, текстологічними методами здобуття знань або ж за допомогою спеціальних досліджень на послідовних етапах розробки ЕС.

Завершенням наступного етапу, етапу **формалізації** є опис того, як задача, що розглядається експертною системою, може бути представлена у вибраному або розробленому формалізмі.

Метою етапу **виконання** є створення одного або декількох прототипів ЕС, що вирішують потрібні задачі. За результатами тестування або дослідної експлуатації створюють кінцевий продукт, що може бути придатним для промислового використання.

За твердженням спеціалістів у області створення штучного інтелекту [4] процес створення експертної системи, як складного програмного продукту, доцільно виконувати методом прототипного проектування. При такому методі найпростіший прототип майбутньої системи реалізується за допомогою будь-якого наявного інструментального засобу вже на етапах ідентифікації та концептуалізації. В подальшому прототип деталізується, концептуальна модель уточнюється. Для розробки ЕС гнучкої переорієнтації виробництва жіночого верхнього одягу обрано саме цей метод – прототипного проектування.

На сьогоднішній день існує досить багато засобів для побудови експертних систем [4]. Вони відрізняються способами представлення знань, механізмами отримання рішень, інтерфейсами спілкування з користувачами, розмірами баз знань, обладнанням, яке використовується, та його вартістю.

Використання пустих оболонок експертних систем (наприклад Exsys Corvid, Exsys Rulebook, ЕКСПЕРТ та ін.) зменшує затрати праці до мінімально можливого рівня, оскільки такі оболонки фактично є прототипами ЕС. Необхідною вимогою використання такої оболонки є відповідність області знань до обраної оболонки.

Для створення прототипу експертної системи гнучкої переорієнтації виробництва жіночого верхнього одягу обрано оболонку ЕС Exsys Corvid (демо-версія) [12].

Пуста оболонка експертної системи Exsys Corvid проста у вивченні та використанні. При цьому це досить потужна система, яка дозволяє створити ЕС для розв'язання проблем різного роду. Відповідно, вона має значну кількість опцій і функцій управління, які дозволяють використовувати систему у специфічних ситуаціях.

Exsys Corvid розроблена таким чином, щоб допомогти користувачеві ввести усі логічні правила у ЕС в такому вигляді, як це відбувалось би при спілкуванні із людиною-експертом.

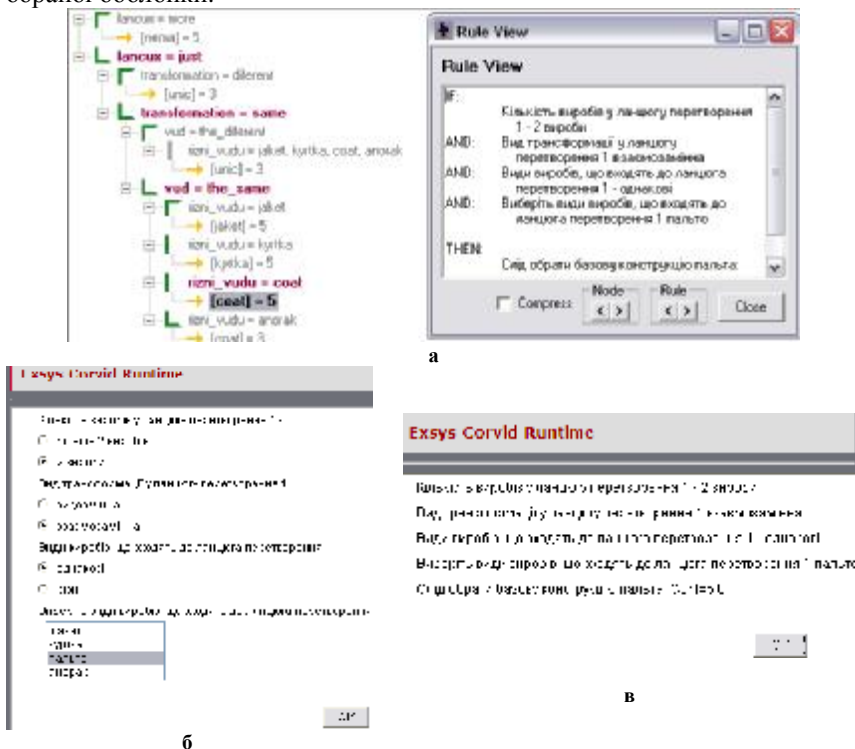


Рис. 3. Робота прототипу експертної системи: а) елементарний логічний блок; б) введення відомих користувачеві даних; в) виведення рішення системи

У найпростішому випадку, при первинному проектуванні прототипу експертної системи, правила, що представлені у вигляді концептуальної моделі можуть відображатися формальною мовою шляхом використання IF/THEN правил (рис. 3).

Висновки

Описані підходи до формування концептуальної моделі та прототипу ЕС дозволяють виділити

масиви відомих та невідомих на даний момент часу знань. Таким чином відомі знання є основою для послідовних етапів створення експертної системи, а невідомі – метою наступних досліджень.

Література

1. Посилкіна О. В. Організація виробництва: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів / О.В. Посилкіна, Р. В. Сагайдак, К. Ю. Зверева. – Х. : Вид-во НФаУ: Золоті сторінки, 2006. – 152 с.
2. Нигматова Ф.У. Формирование промышленного ассортимента одежды на базе экспертной системы / Ф.У. Нигматова, Х.А. Алимова // Швейная промышленность. – 2009. – № 2. – С. 27-28.
3. Захаркевич О.В. Формування раціональних ланцюгів перетворення жіночого плечового одягу. / О.В. Захаркевич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 73-76.
4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский – СПб: Питер, 2000. – 384 с.: ил.
5. Гниденко А.В. Разработка архитектуры экспертной системы оценки качества чертежей конструкций одежды / А.В. Гниденко, Л.П. Юдина, В.Е. Кузьмичев // Швейная промышленность. – 2007. – № 5. – С. 52-54.
6. Акимочкина И.М. Экспертная система выбора предпочтительных моделей одежды для формирования гармоничного внешнего образа индивидуальных потребителей / И.М. Акимочкина, Е.Ю. Кривобородова, Г.И. Петушкова // Швейная промышленность. – 2007. – № 2. – С. 55.
7. An Expert System for Special Body Shapes Recognition in Apparel Made-to-Measure / Hao Kuang-rong, Dong Miao, Chen Bin, Ding Yong-sheng // IEEE Xplore Digital Library. – Режим доступу : <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5459854&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org>
8. An expert system to support clothing design process / Michele Santos, Francisco Rebelo // ACM Digital Library. – Режим доступу : <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1784393>
9. Труевцева М.А. Разработка базы данных для проектирования технологических процессов швейных предприятий сервиса. / М.А. Труевцева, А.М. Евгеньева, Е.Б. Зубарева, О.А. Кучеренко // Швейная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 42-44.
10. Expert system for clothing style selection / Moscow State University of Design and Technology, Division of garments technics // RusHighTech | Know-how from Russia, 2010-2012. – Режим доступу : <http://www.rushightech.com/en/technology/expert-system-clothing-style-selection.html>
11. Славінська А.Л. Основи модульного проектування одягу : Монографія / А.Л. Славінська. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 167 с.
12. Exsys Inc – The Expert System Experts. Режим доступу : <http://www.exsys.com/>.

Надійшла 24.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Славінська А.Л.

ДОСЛІДЖЕННЯ УПОДОБАНЬ СПОЖИВАЧІВ ПРИ ВИБОРІ ЖІНОЧОГО ВЕРХНЬОГО ОДЯГУ КОСТЮМНОГО АСОРТИМЕНТУ

На основі вивчення попиту на жіночий верхній одяг костюмного асортименту отримано інформацію щодо найбільш популярного поєднання виробів у костюмі та їх типових модельно-конструктивних елементів, які є складовою інформаційної бази даних для автоматизованого розроблення технології виготовлення моделі на основі наповнення її технічного рисунку.

Ключові слова: уподобання споживачів, жіночий верхній одяг костюмного асортименту, анкетування, модельно-конструктивні елементи, база даних.

On the basis of studying the demand for women's outerwear of costume range there has been received the information as to the most popular combination of the products in the costumes and the elements of their shaping which constitute the information database for the automatized design of the technology of model creation on the basis of filling its technical drawing.

Keywords: customers' preference, women's outerwear of costume range, survey, model-design options, database.

Постановка проблеми

Зростаючий обсяг інформації, яка систематично накопичується у швейному виробництві, та традиційні методи розв'язання технологічних завдань, які не завжди дають змогу вибрати оптимальне рішення на основі детального аналізу багатоваріантної технології виготовлення, потребують використання сучасних комп'ютерних систем.

Підприємства, які застосовують інформаційні технології, успішно витримують конкурентну боротьбу в умовах ринкової економіки за рахунок покращення якості продукції, а також скорочення термінів виготовлення конкурентоспроможних виробів.

Сьогодні швейні підприємства пропонують досить різноманітні вироби, які постійно змінюються і оновлюються завдяки новим модельним рішенням, але, на жаль, не завжди при розробленні високоякісного одягу враховується попит споживачів.

Розроблення технологічного процесу виготовлення виробів жіночого верхнього одягу костюмного асортименту вимагає встановлення зв'язку між конструкцією виробу і технологією його виготовлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У легкій промисловості на сьогодні відомо достатньо систем автоматизованого проектування одягу (САПР), які випускають вітчизняні та закордонні фірми. Проведений аналіз цих систем визначив, що всі вони містять у собі програми, які певною мірою охоплюють потреби різних етапів швейного виробництва [1].

Аналіз можливостей найбільш поширених у використанні програмних продуктів у сфері технології виготовлення швейних виробів показав, що основним їх призначенням є формування технологічної послідовності, але вони не забезпечують цілісного розв'язання завдань щодо автоматизації даного етапу [2].

Встановлено, що на сучасному етапі виготовлення швейних виробів відсутні підходи щодо синтезу візуалізації швейного виробу у вигляді технічного рисунку з автоматизованим розробленням технологічного процесу його виготовлення [3].

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є визначення інформації щодо можливих варіантів поєднання виробів в жіночому костюмі та їх модельно-конструктивних елементів, що дасть змогу сформувати базу даних для автоматизованого розроблення технології виготовлення швейного виробу.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення поставленої задачі проведено дослідження стану на споживчому ринку жіночого верхнього одягу костюмного асортименту методом статистичного анкетного опитування з використанням сучасних технологій швидкого збору інформації.

Вивчення попиту на жіночий верхній одяг проводилось в два етапи анкетним опитуванням, для проведення якого на основі рекомендацій [4] визначено загальний об'єм вибірки, який склав 720 осіб.

На першому етапі було проведено попереднє опитування респондентів з метою виявлення уподобань споживачів при виборі жіночого верхнього одягу костюмного асортименту та визначення поєднання виробів у костюмі.

Дослідження проводилось серед жіночого населення міст Києва (32,6%), Дніпропетровська (27,8%), Львова (23,6%) та Хмельницького (16,0%) в період 2010–2011 років.

Процес опрацювання анкет показав, що значна частина споживачів мешкає у місті - 93,9%; у селі - лише 6,1%. Виявлено, що споживачів молодшої вікової групи (18 – 29 років) – 31,4%, середньої (30 – 44 роки) – 39,9% та старшої (45 років і старші) – 28,7%. Серед них службовців – 47,6%, бізнесменів – 7,4%, педагогів – 22,3%, студентів – 18,3% та домогосподарок – 4,4%.

Виявлено, що більшість жінок відносять себе до прихильників по відношенню до моди (69,6%); купують вироби костюмного асортименту один раз в 2–5 роки (44,0%) та щорічно (37,9%); надають перевагу виробам із матеріалів, які містять синтетичні волокна (53,6%); обирають кольорову гаму в залежності від свого уже сформованого гардеробу (58,9 %).

Встановлено, що найчастіше споживачі здійснюють покупку одягу у спеціалізованих магазинах – 32,4%; на речовому ринку – 26,5%; у бутиках – 20,5%; замовляють в ательє або у кравчині – 17,4%.

Вважають, що костюм завжди відображає ділові якості людини – 43,0%, не завжди – 52,0%, взагалі з цим не погоджуються – 5,0% жінок.

В результаті попереднього опитування встановлено, що більша частина споживачів (60,1%) віддала перевагу класичному стилю в костюмі, складовими якого є жакет з штанами (40,7%) або жакет з спідницею (40,1%).

На другому етапі роботи анкетування проводилось за трьома анкетами з метою визначення типового рішення моделей виробів костюмного асортименту за тією ж вибіркою.

При виборі одягу більшість споживачів в першу чергу приділяють увагу одному із основних елементів композиції одягу – зовнішній формі, яка визначається силуетними, конструктивними та декоративними лініями [5, 6].

За результатами аналізу уподобань споживачів щодо вибору зовнішніх рішень у моделях жіночого жакета побудовано діаграми, які представлені на рисунку 1.

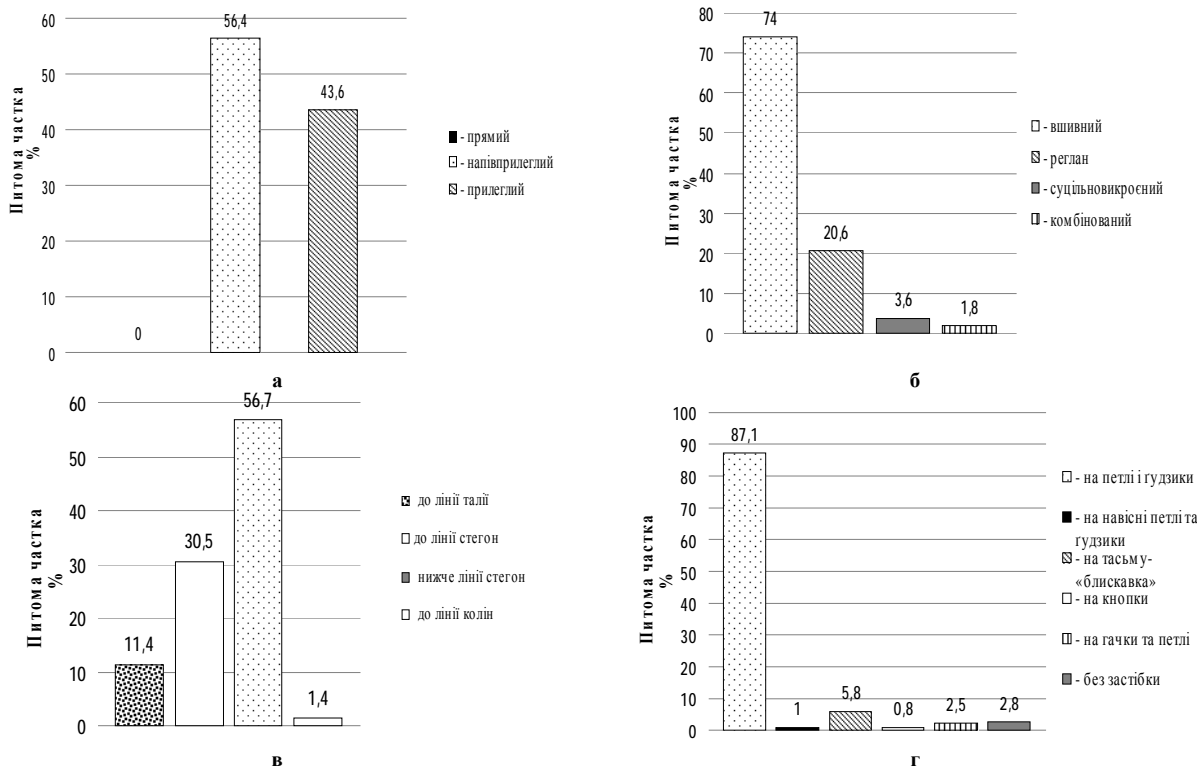


Рис. 1 – Зовнішні рішення жакета:
а – силует, б – край рукава, в – довжина, г – вид застібки

Як видно із діаграми (рис. 1), споживачі при виборі моделі жакета віддали перевагу напівприлеглому (56,4%) або прилеглому (43,6%) силуетам. З'ясовано, що більш бажаним для споживачів є вшивний край рукава (74,0%); серед інших конструкцій рукава найменшу кількість голосів отримав комбінований (1,8%). Під час дослідження встановлено, що більшість жінок обирають довжину виробу нижче лінії стегон (56,7%), менша частина – до лінії колін (1,4%). Пріоритети споживачів при виборі виду застібки були віддані застібці жакета на петлі та гудзики (87,1%).

Крім того, результати опитування показали, що споживачам найбільше до вподоби прямолінійна конструкція низу борта (61,8%) та відкрита застібка жакетів (81,0%).

Для надання моделям жакетів певного силуету використовують елементи формоутворення пілочок та спинки. Результати опитування щодо вибору споживачами конструктивних членувань у жакеті подані на рис. 2.

Аналіз діаграм (рис. 2) показав, що споживачам до вподоби жакети, в яких пілочка та спинка без поперечного членування (відповідно 66,3% і 66,7%); з кокеткою (11,5% і 13,7%); відрізнi по лінії талії (11,5% і 9,6%); з вшивним поясом (10,7% і 10,0%). Щодо поздовжнього членування більшу кількість голосів споживачі віддали рельєфам, які розташовані від зрізу пройми до низу (відповідно пілочка - 41,2% і спинка - 38,0%); від зрізу плеча до низу (32,1% і 27,9%); від зрізу горловини до низу (9,9% і 2,9%); найменше подобається на спинці середній шов, який закінчується шлицею (1,4%).

На думку респондентів, більш популярними в жакетах є комір піджачного типу (46,5%), менше подобаються моделі з коміром «стояк» (13,1%) та шаль (13,2%), без коміра – 4,9%. Значна кількість споживачів обирає оформлення низу рукавів без модельних елементів (59,4%), дещо менша - зі шлицею (29,2%) або з манжетами (2,9%).

Переваги споживачів щодо вибору кишень у жакетах розподілились наступним чином: прорізнi з клапанами – 23,6%, з обшивками – 21,3% або з листочками – 20,1%; накладні – 12,0%, непрорізнi – 5,4%; жакети без кишень до вподоби 17,6% жінок.

Структурою анкети були передбачені питання з метою визначення уподобань споживачів щодо конструктивно-декоративних та оздоблювальних елементів жакетів (рис. 3, 4).

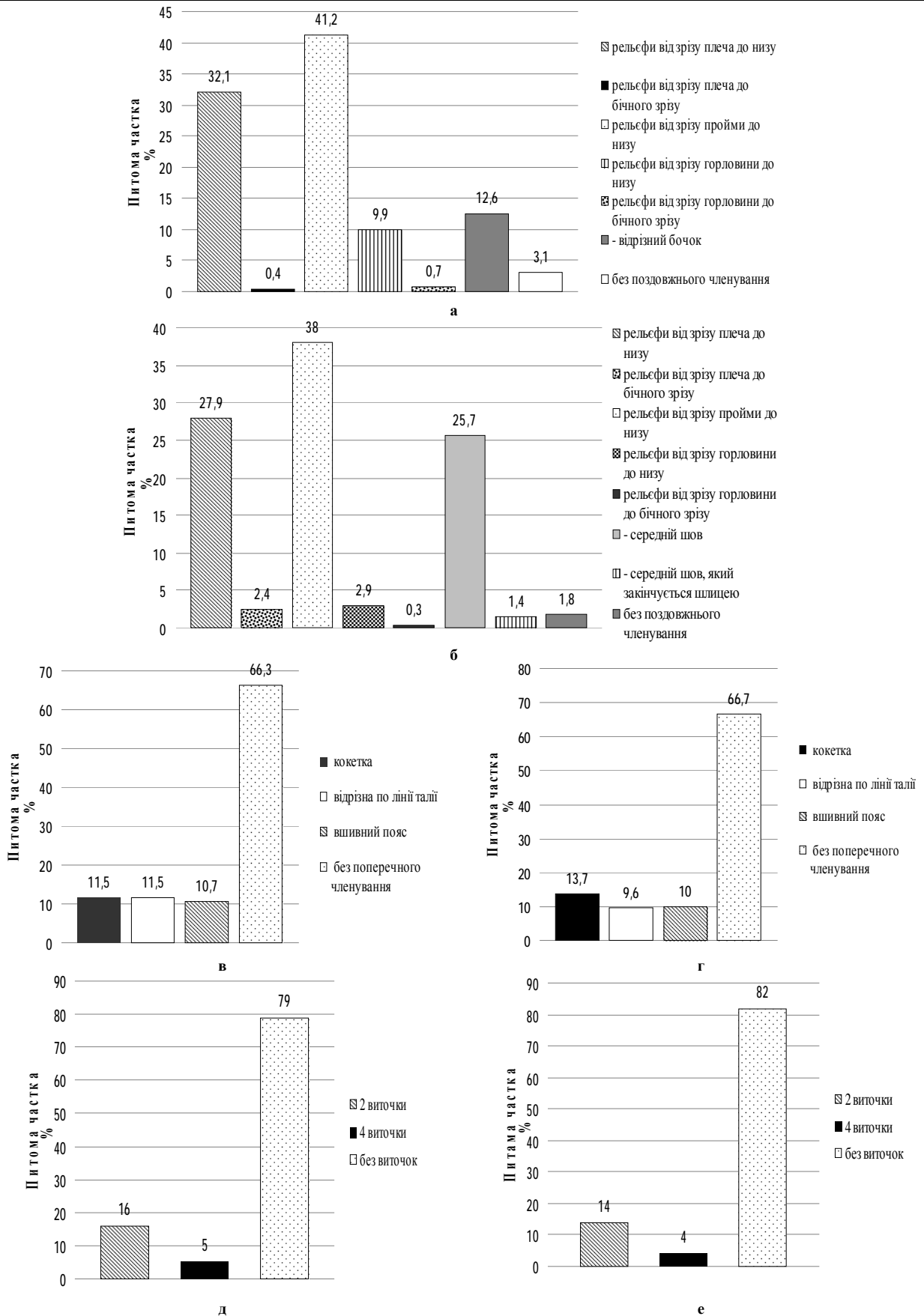


Рис. 2 – Елементи формоутворення жакета: а – поздовжні членування пілочки, б – поздовжні членування спинки, в – поперечні членування пілочки, г – поперечні членування спинки д – виточки пілочки, е – виточки спинки

Жіноча мода досить мінлива, на даному етапі її розвитку більшості респондентів подобається відсутність в моделях жакетів конструктивно-декоративних елементів – 66,3%. Серед обраних елементів надається перевага поясу – 12,8%; погоням – лише 1,9% (рис. 3).

З аналізу діаграми, яка представлена на рис.4, встановлено, що значній кількості споживачів як

оздоблювальні елементи в жакетах до вподоби – оздоблювальні строчки (45,9%), менше подобаються оздоблювальні клапани (3,9%) та аплікація (2,5%).

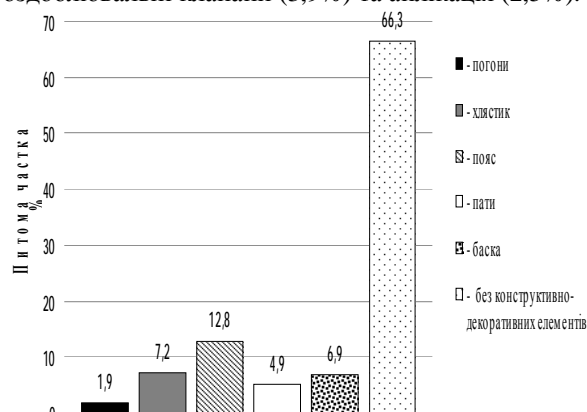


Рис. 3. Конструктивно-декоративні елементи жакета

Аналогічні дослідження були проведені для визначення уподобань споживачів щодо модельно-конструктивних елементів штанів і спідниць.

На основі отриманих результатів анкетного опитування і з урахування елементів, які мають повторюваність понад 45 % [5], визначені типові рішення моделей виробів костюмного асортименту.

Жакет напівприлеглого силуету, довжиною нижче лінії стегон, з швином рукавом, коміром піджачного типу, прямолінійною конструкцією низу борту, з центральною відкритою застібною на петлі і гудзики; пілочки з рельєфами, які розташовані від зрізу пройми або плечового зрізу до низу, і прорізними кишнями; спинка з рельєфами, які розташовані від зрізу пройми або плечового зрізу до низу, та середнім швом; низ рукавів без модельних елементів.

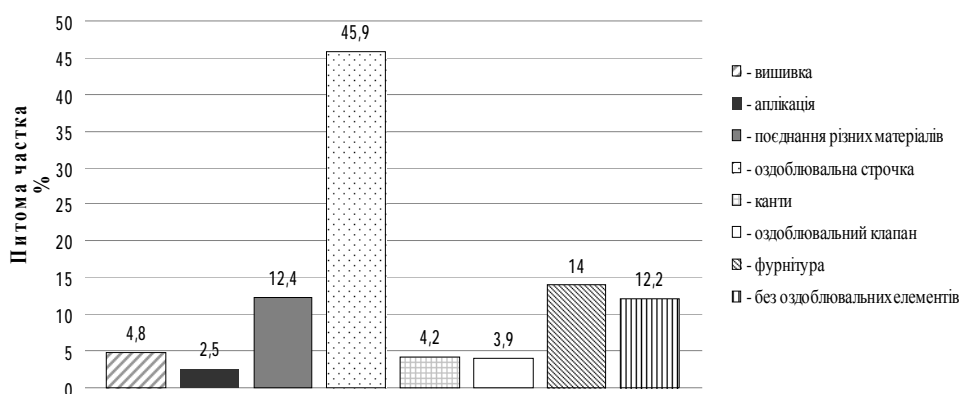


Рис. 4. Оздоблювальні елементи жакета

Штани прямого силуету, з лінією талії на природному місці та верхнім краєм, який оброблений поясом; передні частини з виточками та застібною у середньому шві; задні частини з виточками.

Спідниця прямого силуету, довжиною на рівні колін; з лінією талією на природному місці та верхнім краєм, який оброблений поясом, застібною в середньому шві заднього полотнища чи в бічному шві; передне полотнище з виточками; заднє полотнище з виточками та середнім швом, який закінчується шлицею.

Як оздоблювальний елемент у виробів костюмного асортименту використовується оздоблювальна строчка.

Висновки

Отримано інформацію щодо найбільш популярного серед жіночого населення поєднання виробів у костюмі та їх типових модельно-конструктивних елементів, що дозволить провести декомпозицію виробів костюмного асортименту для формування бази даних автоматизованого процесу розроблення технологічної послідовності виготовлення моделі на основі наповнення її технічного рисунку.

Література

1. Курбатов Е.В. Организационная структура САПР швейных изделий /Курбатов Е.В // Швейная промышленность. – 2004. - № 4. – С.33-34.
2. Колосніченко М.В. Комп'ютерне проектування одягу: навчальний посібник / Колосніченко М.В., Щербань В.Ю., Процик К.Л. – К.: «Освіта України», 2010. – 236 с.
3. Пястук О.В., Бондар К.І. Застосування комп'ютерних технологій для вдосконалення технологічної підготовки швейного виробництва //Збірник наукових праць за матеріалами науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2009». м. Хмельницький, 2009. – С. 159–161.
4. Шершнева Л.П., Рогова А.П. Проектирование и производство женского платья. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983.-224 с.
5. Славінська А.Л. Методи типового проектування одягу: навчальний посібник / Славінська А.Л. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – 159 с.
6. Конструирование одежды с элементами САПР: учеб. для вузов /[Е.Б.Коблякова, Г.С. Ивлева, В.Е. Романов и др]; под ред. Е.Б. Кобляковой. – [4-е изд., перераб. и доп.]- М.: Легпромбытиздат, 1988.- 464 с.: ил.

Надійшла 6.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Славінська А.Л.

АНАЛІЗ ЗМІНЮВАННЯ СТИЛЬОВИХ РІШЕНЬ ФОРМИ ЖІНОЧОГО КОРСЕТА

Досліджено змінювання стильових характеристик форми жіночого корсета в історичному аспекті. На основі аналізу геометричних символів силуетів виділені три базові форми корсета. Виконано прогнозування розвитку кривих зміни базових форм жіночого корсета. Підтверджено правомірність використання поліноміальних моделей змінювання трьох базових форм в асортименті жіночого одягу.

Ключові слова: геометричний символ, базова форма, жіночий корсет, силует, стильове рішення, прогнозування.

The article considers investigation of treason stylish descriptions of form of woman's corset in a historical aspect. Three base forms of corset are selected on the basis of analysis of geometrical characters of silhouettes. Prognostication of development of curves of change of base forms of woman's corset is executed. Legitimacy of the use models of treason of three base forms is confirmed in the assortment of woman's clothes.

Keywords: geometric symbol, the basic form, the female corset silhouette style solution, prediction.

Постановка проблеми

В асортименті сучасного одягу набуває розповсюдження жіночий корсет, який призначений для моделювання форми тіла.

На сьогоднішній день для виявлення закономірностей змінювання розвитку стильових рішень корсета в історичному аспекті основним і найбільш інформаційним є графічний метод зображення, запропонований Т. В. Козловою, оскільки він дозволяє виявити зв'язок між окремими структурними параметрами і геометричним образом форми.

Тому, визначення основних базових форм корсета, виявлення закономірностей їх змінювання у часовому розвитку є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Механізм сприйняття предмету базується на тому, що людським оком, насамперед, сприймається об'єкт як сукупності точок фіксації, що групуються навколо кутів зображення фігури [1].

Отже, точки максимальної кривизни і перетинів контуру є найважливішими точками, оскільки з'єднання їх прямими лініями утворює просту геометричну фігуру – геометричний символ (ГС), що несе в собі інформацію про форму і не спотворює сутність досліджуваного об'єкта [1,2].

Таким чином, для обґрунтування особливостей виникнення нової форми жіночого корсета, насамперед, необхідно привести її до ГС.

Визначені ГС форми корсета створюють умови для визначення базових форм і обґрунтування динаміки їх часового розвитку.

Мета і завдання дослідження

Метою статті є дослідження процесу формоутворення корсета на основі встановлення циклу розвитку базових форм.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань:

- дослідження характерних силуетів корсета в історичному аспекті;
- побудова технічних ескізів змодельованої корсетом жіночої фігури для аналітичного обґрунтування геометричних символів базових форм сучасного корсета;
- прогнозування розвитку кривих зміни базових форм одягу з екстраполяцією до форм жіночого корсета.

Виклад основного матеріалу

Для виявлення закономірностей будови форми корсета в історичному аспекті з урахуванням рекомендацій [1-4], дослідження виконані поетапно.

На першому етапі сформовано каталог моделей корсетів різних історичних епох.

На другому етапі, який передбачає побудову технічного ескізу жіночої фігури, розмір 158-88-96, та розрахунок коефіцієнту переходу, досліджено силуетні лінії корсета в технічному ескізі.

На третьому етапі, на основі визначення геометричних символів форми корсета, виділені три його базові форми для кожного історичного періоду.

Заключний четвертий етап полягає у встановленні циклу розвитку базових форм сучасного корсета.

Відповідно до сформованого каталогу корсетів, що зустрічалися протягом XIII ст. до н.е. – XXI ст. н.е. виявлено, що історичні періоди розвитку форми жіночого корсета утворюють 8 систем (табл. 1).

Систематизація жіночого корсета за історичними періодами

Номер системи	Період	Характеристика системи
1	2	3
1	XIII – VI ст. до н.е.	Відсутній будь-який сагітальний прогин корпусу фігури, лінії талії та грудей розташовані на своєму природному місці.
2	XII – перша половина XV ст.	Зменшення об'єму талії, приховуються груди, сагітальний силует прямує до форми трапеції.
3	Друга половина XV ст. – початок XVI ст.	Розвивається під впливом пластичних особливостей системи 2. Визначальним є заниження лінії талії. Особливістю цього періоду є перевага V – подібної форми декольте.
4	XVII ст.	Визначається розвитком форми прямокутника або трикутника. Початок циклу – заниження рівня талії корсета і випрямлення модної постави. Кінець циклу характеризується меншим об'ємом та пропорційними відношеннями
5	XVIII ст.	Завищена лінія талії, найчастіше зустрічається прямокутна форма.
6	XIX ст.	Розвивається під дією пластики X – подібних форм.
7	XX ст.	Характеризується надзвичайним звуженням обхвату талії, кривизна силуету в сагітальній площині прямує до S- подібної форми. Наприкінці системи фігура людини набуває природної форми. Переважає прямий силует (прямокутник). Довжина корсета значно подовжується.
8	XXI ст.	Характеризується природним розташуванням лінії талії та стегон. В процесі розвитку форми корсета фіксується увага на грудях, талії та стегнах за ознаками X – подібних форм.

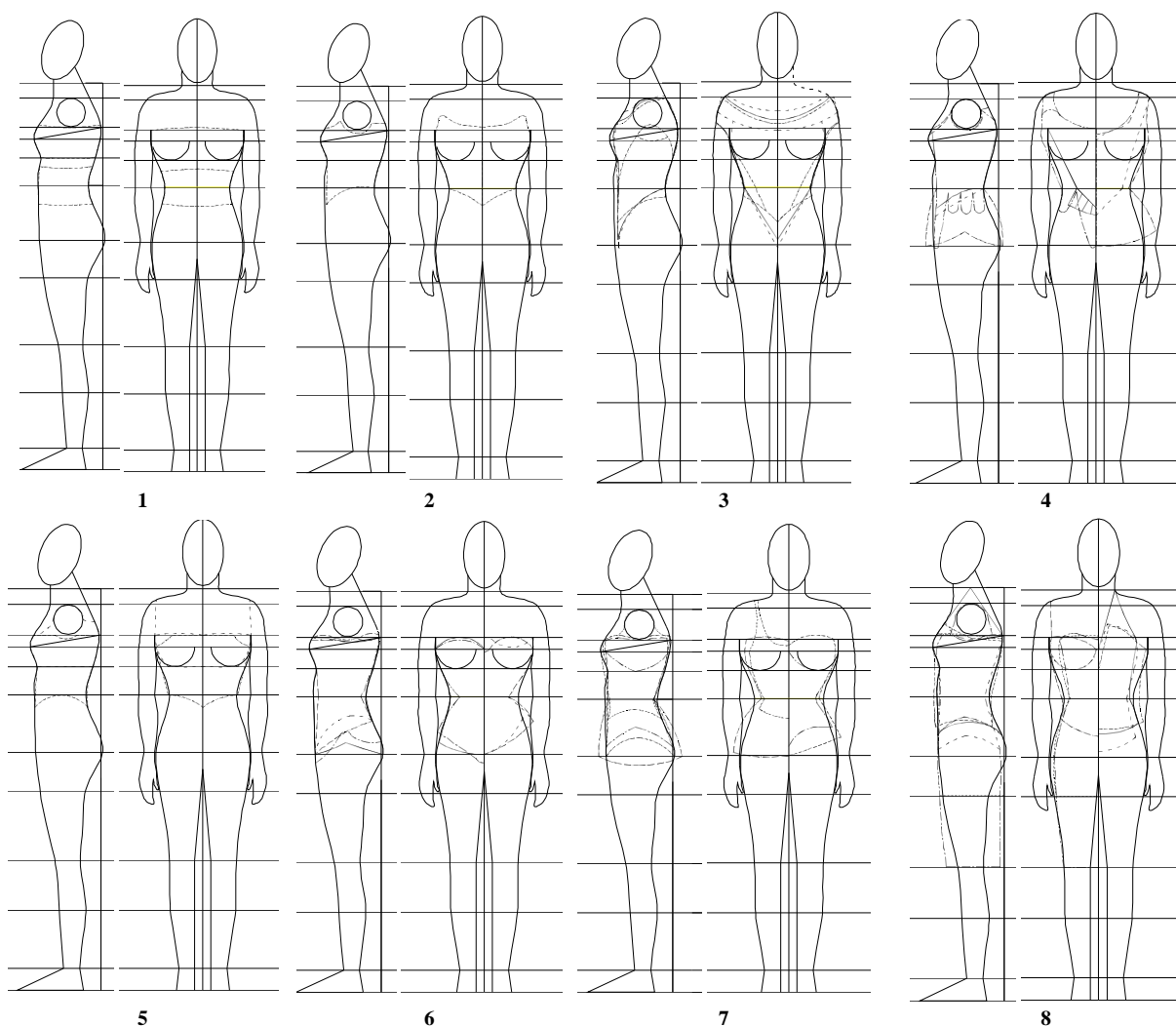


Рис. 1. Формування силуетних ліній корсета в технічному ескізі жіночої фігури: 1-8 – номер системи

Для виконання побудови технічного ескізу жіночої фігури розміром 158-88-96 визначено 36 розмірних ознак з відповідних розмірних стандартів [5-7].

Для побудови горизонтальних ліній обрано такі розмірні ознаки: 1,2,4-7,9-12,27,62,68,73. Для побудови вертикальних ліній обрано розмірні ознаки: 53-58. Для побудови фронтальних проєкцій обрано розмірні ознаки: 13,22-24,29,45-47 [5,7]. Додатково для профільних проєкцій використані розмірні ознаки: 79,100,107,111,112,114 [5,6]. Побудова технічного ескізу виконана з використанням графічного редактора програми AutoCAD.

Для достовірності нанесення силуетних ліній корсета з рисунка на технічний ескіз жіночої фігури у сітці горизонтальних та вертикальних ліній, що обмежують контур корсета та визначають розташування основних членувань виробу, розраховано коефіцієнт переходу (масштаб рисунка) відповідно до рекомендацій [4]. За результатами перерахунків горизонтальних та вертикальних відрізків відповідно до сітки, на технічний ескіз жіночої фігури нанесені силуетні лінії корсетів відповідного історичного періоду, що дозволило отримати змодельовану корсетом фігуру (рис. 1).

Дослідженнями Т. В. Козлової [1] встановлено три базові форми одягу: прямокутна, трапецевидна та овальна, що співіснують в кожному періоді часу. В основу базової форми покладено структуру ГС як початкову для подальших її варіацій.

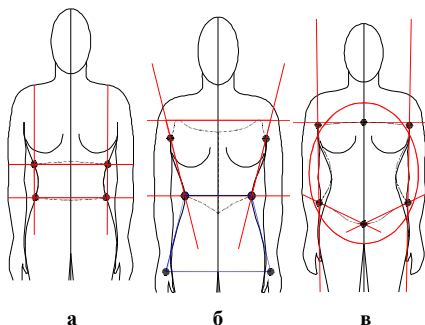


Рис. 2. Фрагмент побудови ГС за променями, що проходять через основні точки фіксації:
а – прямокутна форма;
б – трапецевидна форма;
в – овальна форма

З'єднання точок фіксації корсета виконано променевими лініями за допомогою команди (RAY) у програмі AutoCAD. Для побудови ГС встановлено необхідну кількість точок фіксації та променів, які окреслюють форму жіночого корсета на фігурі. Фрагмент визначення точок фіксації та проходження променів, які утворюють геометричний символ представлений на рис. 2.

Для побудови прямокутної форми достатньо чотири точки фіксації (рис. 2, а). Для трапецевидної форми число точок фіксації дорівнює чотирьом, якщо довжина корсета до лінії талії, і вісім, якщо корсет нижче лінії талії (рис. 2, б). До овальної форми ГС наближається в тому випадку, коли налічується шість точок максимальної кривизни контуру досліджуваного об'єкта (рис. 2, в).

Таким чином, на основі дослідження ГС форми жіночого корсета виявлені тенденції часового розвитку базових форм (рис. 3).

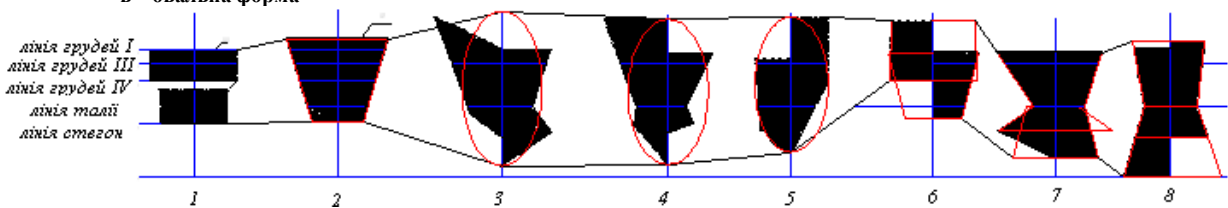


Рис. 3. Паралельність змінювання геометричного символу форми жіночого корсета VI– XXI ст.

Крім того, за допомогою варіювання кількості точок фіксації в ГС утворюється активна або пасивна форми.

За результатами аналізу процесу формоутворення корсета виявлено, що активна форма виявляється через складні конфігурації (рис. 3, номер системи 3,4,7,8). Пасивна форма притаманна прямолінійній конфігурації (системи 1,2,5,6).

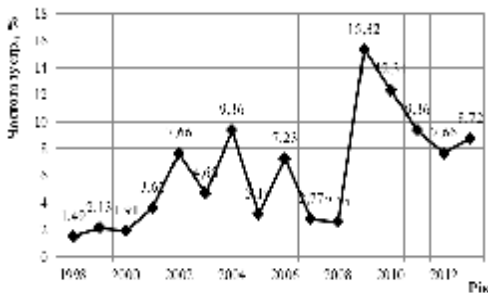


Рис. 4. Частота зустрічності корсетів в жіночому асортименті одягу за період 1998 – 2013 рр.

З метою визначення динаміки розвитку базової форми корсета за період 1998– 2013 рр. методом аналогій виконано прогнозування розвитку кривих зміни базових форм жіночого одягу в цілому з наступною екстраполяцією до форм жіночого корсета (рис. 4).

За точками екстремумів встановлено, що серед досліджених 470 моделей, мінімальне значення частоти зустрічності корсетів становить 1,49 % (1998 р.), максимальне – 15,32 % (2009 р.). Отже, частота зустрічності корсетних виробів на графіку циклічного змінювання базових форм одягу становить близько 20 % (рис. 5). Для подальших досліджень теоретична модель екстрапольована до експериментальної моделі розвитку корсетних виробів в діапазон частоти зустрічності 0–20 % (рис. 6).

З урахуванням рекомендацій [8] експериментальну криву силуетної форми поділено на діапазони, які характеризують періоди пульсації в зародженні, розвитку і спаду базових форм одягу (рис. 6): I діапазон – 1998 – 2002 рр.; II діапазон – 2002 – 2011 рр.; III діапазон – 2011 – 2013 рр.

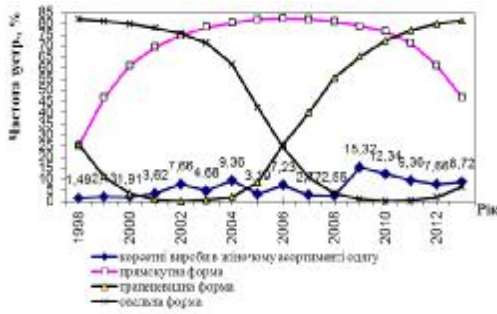


Рис. 5. Екстраполяція корсетних виробів до циклічності розвитку базових форм одягу



Рис. 6. Інтегрована модель розвитку корсетних виробів

Встановлено, що максимальний рівень досліджуваної експериментальної кривої у кожному діапазоні (I – 7,66 %, II – 15,32 %, III– 8,72 %) наближений до 20-ти відсоткового рівня відповідної теоретичної кривої змінюваності базової форми: I – овальна, II – прямокутна, III – трапецевидна (рис. 7).

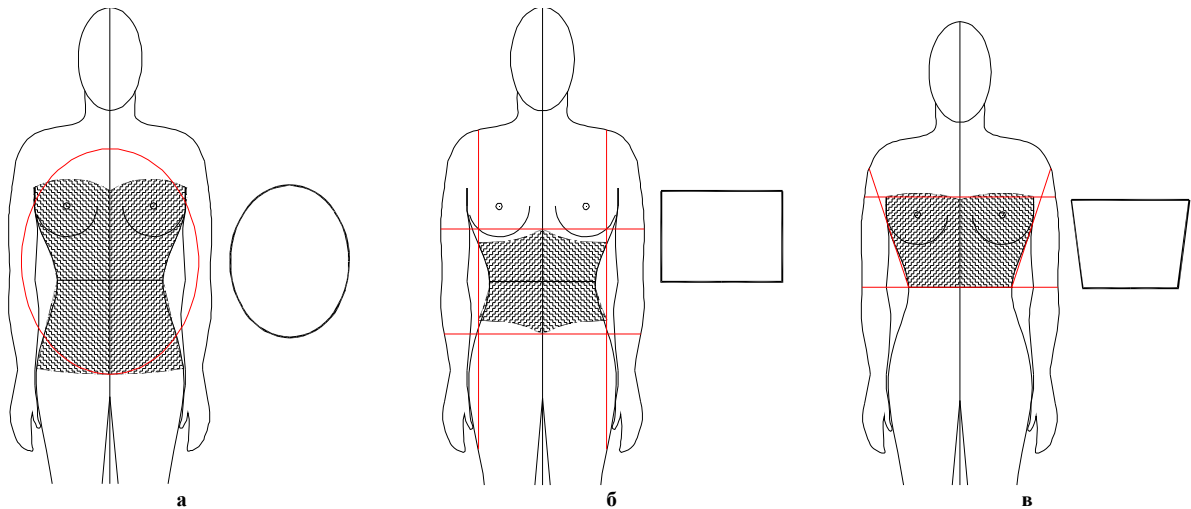


Рис. 7. Зв'язок геометричного символу форми корсета з фігурою жінки
а – овальна форма; б – прямокутна форма; в – трапецевидна форма

У табличному процесорі Excel виконано апроксимацію теоретичної кривої змінювання силуетних форм корсета (рис. 8 – 10).



Рис. 8. Порівняння поліноміальних моделей змінювання овальної форми та корсетних виробів в асортименті жіночого одягу (1998-2013 рр.)

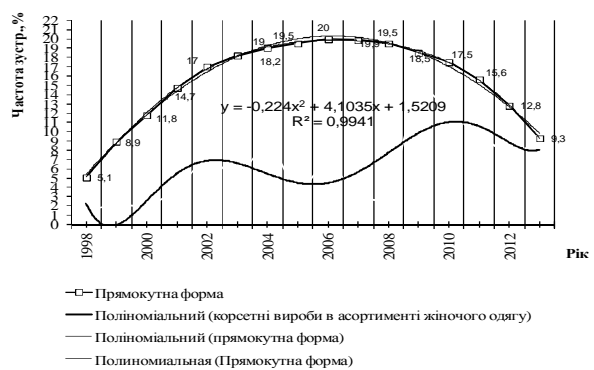


Рис. 9. Порівняння поліноміальних моделей змінювання прямокутної форми та корсетних виробів в асортименті жіночого одягу (1998-2013 рр.)



Рис. 10. Порівняння поліноміальних моделей змінювання трапецевидної форми та корсетних виробів в асортименті жіночого одягу (1998-2013 рр.)

В таблиці 2 представлені результати перевірки адекватності експериментальної моделі змінювання силуетної форми корсета теоретичній кривій.

Адекватність моделей підтверджується критерієм Фішера, оскільки виконується умова ($F_p < F_m$) при довірчій вірогідності P_0 0,95.

Таким чином, модель є адекватною і підтверджує циклічність розвитку базових форм корсета.

Таблиця 2

Результати перевірки адекватності моделей змінювання силуетних форм корсета

Показник	Розрахункові значення показника		
	Овальна форма	Трапецевидна форма	Прямокутна форма
1	2	3	4
D_a	76,129	55,195	26,516
D_{cp}	52,61	52,61	52,61
$F_{розр}$	1,44	1,049	0,503
$F_{табл}$	3,204	3,204	3,204
	$y=0,027x^3 - 0,63x^2 + 2,05x + 18,3$	$y=-0,024x^3 + 0,768x^2 - 5,55x + 11,3$	$y=-0,224x^2 + 4,1035x + 1,52$

Висновки

Визначено та узагальнено геометричні символи базових форм жіночого корсета.

Базуючись на результатах досліджень, встановлені математичні моделі, які підтверджують циклічність розвитку базових форм корсета в досліджуваному періоді серед жіночого асортименту одягу.

Виявлено, що модель змінювання силуетних рішень корсета є найбільш наближеною до теоретичної моделі трапецевидної форми.

Література

1. Козлова Т. В. Основы теории проектирования костюма: Учеб. для вузов / Т. В. Козлова. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 352 с.
2. Селезньова А. В. Дослідження ретроспективного розвитку графічних моделей формоутворення жіночих корсетів / А. В. Селезньова, А. Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 195 – 198.
3. Чупріна Н. В. Прогнозування формоутворення як етап художнього проектування костюма: [монографія] / Н.В. Чупріна. – К. : КНУТД, 2010. – 180 с.
4. Матузова Е. М. Разработка конструкций изделий по моделям / Матузова Е. М., Гончарук Н. С., Соколова Р. И. – М. : Легкая индустрия, 1975. – 248 с.
5. Изделия швейные. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды: ОСТ 17-326-81. – М. : ЦНИИГЭИлегпром, 1981 – 109 с.
6. Изделия швейные. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования корсетных изделий: ОСТ 17-497-83. – М. : Министерство легкой промышленности, 1983. – 26 с.
7. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды ГОСТ 17522-72. – [Введ. 01.01.73]. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 92 с.
8. Славінська А. Л. Методи типового проектування одягу: Навчальний посібник / А. Л. Славінська. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – 159 с.

Надійшла 23.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Славінська А.Л.

ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ТИПІВ ФІГУР ДІВЧАТОК ШКІЛЬНОГО ВІКУ ЗА ЇХ ЗАГАЛЬНОЮ ОБ'ЄМНО – ПРОСТОРОВОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ БУДОВИ ТІЛА

Виконано систематизацію фігур дівчаток шкільного віку у однорічних періодах їх розвитку за загальною об'ємно-просторовою характеристикою будови тіла. Визначено найбільш поширені типи фігур та характер їх розподілу у вибірці в цілому, у однорічних періодах розвитку, у вікових групах згідно діючої та запропонованої вікових періодизацій. Обґрунтовано доцільність впровадження запропонованої вікової періодизації розвитку дівчаток для проектування дитячого одягу в промислових умовах.

Ключові слова: досліджувана вибірка, вікова періодизація, однорічний період розвитку, вікова група, тип фігури, площина об'ємного простору фігури, систематизація фігур.

Systematization of figures of school age girls in the annual periods of development by general three-dimensional characteristics of the body structure has been done. The most common types of figures and their distribution in the sample in whole, in annual periods of development, in the age groups according to existing and proposed age periodization were determined. The necessity of implementing the proposed age periodization of girls' development for children's clothing design in industrial conditions was grounded.

Keywords: sample studied, age periodization, annual period of development, age group, type of figure, plane of three-dimensional space of figure, systematization of figures.

Постановка проблеми

Конструктивно-композиційне вирішення одягу в значній мірі залежить від особливостей у будові тіла людини, яке суттєво відрізняється від типової. Умови масового виробництва не дозволяють враховувати індивідуальні особливості кожного споживача. Однак, є можливість привести все різноманіття споживачів до обмеженої кількості типів, які будуть враховувати їх найбільш поширені індивідуальні особливості у будові тіла. Особливо це стосується дитячого населення шкільного віку, тому що одяг у даному віці виконує дуже різноманітні функції, більшість яких визначається антропометричною характеристикою тіла дитини.

Дослідження будови тіла дитячого населення визнано найскладнішим [1,2], оскільки процес зростання у дітей відбувається нерівномірно. Тому, актуальним є визначення найбільш поширених типів фігур споживачів дитячого населення шкільного віку за їх індивідуальними особливостями у будові тіла, на які доцільно проектувати одяг в умовах масового виробництва шляхом введення додаткових типів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В публікаціях [3,4] згідно основних положень систематизації форми тіла людини за її загальною характеристикою у трьох площинах об'ємного простору розроблені класифікаційні групування типів фігур дівчаток окремо у молодшій шкільній та підлітковій групах. Визначені, аналітичним шляхом за допомогою засобів автоматизації, найбільш поширені типи тілобудов дітей досліджуваних вікових груп в процесі зростання, що дозволило отримати повну уяву про їх різноманіття. Оскільки фігури дівчаток змінюються нерівномірно протягом всього шкільного віку актуальним є простеження змін у характері розподілу типів фігур дівчаток не тільки окремо у вікових групах, але й в цілому по шкільному періоду.

Мета і завдання дослідження

Головною метою досліджень є визначення найбільш поширених типів тілобудови фігур дівчаток шкільного віку за їх індивідуальними особливостями, які необхідно враховувати при проектуванні високоякісного одягу в умовах масового виробництва.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання:

виконано систематизацію фігур дівчаток шкільного віку по однорічних періодах їх розвитку за загальною характеристикою будови їх тіла у трьох площинах (фронтальна, профільна та горизонтальна) об'ємного простору. Визначено найбільш поширені типи фігур;

проаналізовано результати систематизації фігур дівчаток шкільного віку в процесі їх зростання по однорічних періодах розвитку, по вікових групах та по вибірці в цілому;

обґрунтовано доцільність удосконалення існуючої вікової періодизації дівчаток шкільного віку на основі змін у характері розподілу найбільш поширених типів фігур у вікових групах досліджуваної вибірки.

Виклад основного матеріалу

Систематизацію фігур дівчаток шкільного віку (6,6 рр. – 18 рр.) було виконано у трьох площинах об'ємного простору за значеннями співвідношень найбільш вагомих ділянок тіла (показників-індексів K_j), тобто за пропорційною будовою їх тіла.

Так, для загальної характеристики форми тіла дівчаток шкільного віку обрані наступні показники-індекси, а саме:

- фронтальна – K_m, K_{m0}, K_{ϕ} ;
- горизонтальна – K_{nz}, K_{nm}, K_{ncm} ;
- профільна – K_{nk}, K_{m1}, K_{ϕ} .

У кожній площині систематизацію фігур дівчаток виконано по трьох рівнях. На нижніх (останніх)

рівнях класифікаційних групувань встановлено типи фігур, які визначено шляхом поєднання різних їх варіантів за кожним показником-індексом, обраним для дослідження.

Результати багаторівневої систематизації фігур досліджуваних дівчаток шкільного віку окремо по кожній з площин об'ємного простору представлені у таблицях 1-3.

У вищезазначених таблицях наведено наступне:

- структура багаторівневої систематизації (класифікаційні групування) типів фігур за обраними показниками-індексами, тобто за пропорційною будовою їх тіла (колонки 1-7). По всіх рівнях систематизації (класифікаційних групувань) тип 2 характеризується нормальною (середньою) будовою тіла, але тип 1 та тип 3 мають суттєві відхилення від нормальної будови тіла, тобто від типу 2;

- частота зустрічності типів фігур дівчаток молодшої, старшої шкільних та підліткової вікових груп у однорічних періодах розвитку (колонки 8-19);

- середнє значення частоти зустрічності морфологічних типів фігур у вибірці в цілому по наступних рівнях багаторівневої систематизації: третій рівень – колонка 20, другий – колонка 21 та першій – колонка 22;

- жирним шрифтом та сірим кольором виділено найбільш поширені типи фігур дівчаток у однорічних періодах їх розвитку, які охоплюють 75 % досліджуваної вибірки, та на які доцільно проектувати одяг в умовах масового виробництва.

Аналіз розподілу типів фігур дівчаток шкільного віку у досліджуваній вибірці було виконано поетапно, а саме: у однорічних періодах розвитку дитини; у вікових групах та у вибірці в цілому.

Аналіз проводився окремо по кожній з площин об'ємного простору фігури.

У фронтальній площині об'ємного простору більш різноманітні фігури дівчаток старшої шкільної та підліткової вікових груп, ніж молодшої шкільної. Динаміка їх змін наведена на рис. 1 та в таблиці 4.

Таблиця 1

Частота зустрічності (%) типів фігур дівчаток шкільного віку згідно їх систематизації у фронтальній площині об'ємного простору.

Варіанти типів фігур Код типу та його назва						Вікова група												Середнє значення у вибірці по рівнях систематизації:			
						молодша шкільна				старша шкільна				підліткова							
						Однорічний період												3-й	2-й	1-й	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Багаторівнева систематизація типів фігур за показниками індексів К ₁ : перший рівень (К ₁) другий рівень (К ₂) третій рівень (К ₃)	1. Вузкоскладаний	1. Доліхоморфний	1. Нижній										4	4		2	2	2	2	1,3	
			2. Середній	2	4	6	4	2	10	6	6	6	2	2	6	6	2	2	6	4,7	
			3. Верхній				4	6			2	2	2	6	10	2,7					
		2. Мезоморфний	1. Нижній		2			2		2	4	2		2	4	1,5					
			2. Середній	10	6	8	8	10	8	2	8	4	2	4	6	6,5	12,2				
			3. Верхній	2	4	2	8	6	8	8	6		2	2	2	4,2					
		3. Брахіморфний	1. Нижній				2		2	4		4	4		1,3						
			2. Середній	2	2	4	4	4	6	2	4	6	2	6	3,5	7,1					
			3. Верхній			4	2		4		2	2	6	2	6	2,3					
	2. Середньоскладаний	1. Доліхоморфний	1. Нижній	2		4	4			2	2		2	6	4	2,2					
			2. Середній	10	10	8	12	8	4	6		8	8	10	4	7,2	11,9				
			3. Верхній			4		4	2	2	4	2	8	2	2	2,5					
		2. Мезоморфний	1. Нижній	4	8	8	2	2			8	6	8	4	4	4,5					
			2. Середній	42	38	28	16	10	8	18	12	8	4	10	12	17,3	25,6				
			3. Верхній	4	4		2	2	2	2	6	12	6	2	4	3,8					
		3. Брахіморфний	1. Нижній		2		2	4						4	4	8	2,0				
			2. Середній	8	6	8	10	10	6	12	10	10	14	8	2	9,0	14,5				
			3. Верхній	2	4	4	4	4	4	2	2		6	6	4	3,5					
	3. Ширококладаний	1. Доліхоморфний	1. Нижній		2	2			2	2	2	4	8	2		2,0					
			2. Середній				2	6	4	8		4		6	2	2,7					
			3. Верхній				2	2	2						0,5						
		2. Мезоморфний	1. Нижній	2			4	6	4	2	10	2		4	6	3,3					
			2. Середній	2	6	4	2	8	8	10	6		4	4	6	5,0	8,6				
			3. Верхній					2				2				0,3					
3. Брахіморфний		1. Нижній	2		2	2	4	4	2	2		2	4	4	2,3						
		2. Середній	6	2	4	6		2	2	4	10		2		3,2	6,2					
		3. Верхній									2	2	2	2	0,7						

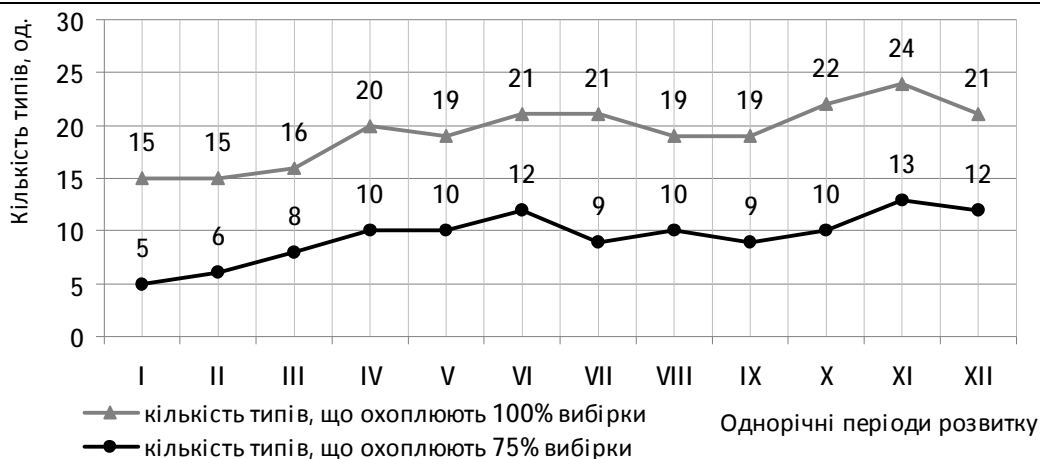


Рис. 1. Динаміка зміни кількості типів фігур дівчаток шкільного віку, які визначено за пропорційною характеристикою їх тіла у фронтальній площині об'ємного простору

Таблиця 2

Частота зустрічності (%) типів фігур дівчаток шкільного віку згідно їх систематизації у профільній площині об'ємного простору.

Варіанти типів фігур Код типу та його назва						Вікова група												Середнє значення у вибірці по рівнях систематизації:					
						молодша шкільна				старша шкільна				підліткова									
						Однорічний період												3-й	2-й	1-й			
						I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII						
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
Багаторівнева систематизація типів фігур за показниками індексами К _у :	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений			2		2			2	4	2	4		1,3	8,3	26,2		
			2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній	2	2		4	4	6	10	10	4	2	6	6	4,7				
			3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений		4	2	2	2	2	4		7		4		2,3				
		2. Середній	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений				2	6	2		2	2	4	6	4	2,3	10,8			
			2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній	6	6	6	6		4	5	4	4	4	8	6	6			5,1	
			3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений			2	6	8	9	6			4	4	2	3,4				
		3. Збільшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений						2	2	2	4	4	2		1,3	7,1			
			2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній	2	4	4	2	8	4	2	4	4	2		4	3,3				
			3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	4	2	4	2	2			6	2	2	2	4	2,5				
		2. Середній	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	6	4	2	6		6		4	2		2	2	2,8		12,0	46,0
				2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній	10	6	10	4	10		2	6	11	10	8	6	6,9			
				3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	2			2	2	9			2	6	2	2	2,3			
	2. Середній		1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	2	2	8	6	8	2	2	2	2	2	2	4	4	3,7	22,8		
			2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній	24	20	20	10	8	4	12	16	13	8	10	6	12,6				
			3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	8	10	8	8	4	4	8	8	8		4	8	6,5				
	3. Збільшений		1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	2	6		2	2	2	2	2		2	4	8	2,7	11,2			
			2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній	4	6	12	8	6	4	6	2	4	8	6		5,5				
			3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	6	6	2	6	4		2		2	8			3,0				
	3. Збільшений		1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	4	2	6		2	2		4	2	4	2	2	2,3	6,9	27,6	
				2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній		8	2	2	2		2	2	4	6	2	10	3,3			
				3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений		2		2		2	2				4	4	1,3			
		2. Середній	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	6	6	2	8	8	2	6	2		2	4	4	4,2	13,8			
			2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній	6	2	6	6	6	15	15	10	6	6	2	2	6,8				
			3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	2			2	2	2	2	6	5	6	2	4	2,8				
3. Збільшений		1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	1. Зменшений	2	2		2	2	9	4	2	2	2		4	2,6	6,9				
		2. Середній	2. Середній	2. Середній	2. Середній	2		2	2	2	4	6			2	6	4	2,5					
		3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений	3. Збільшений						4		4	6		4	4	1,8					

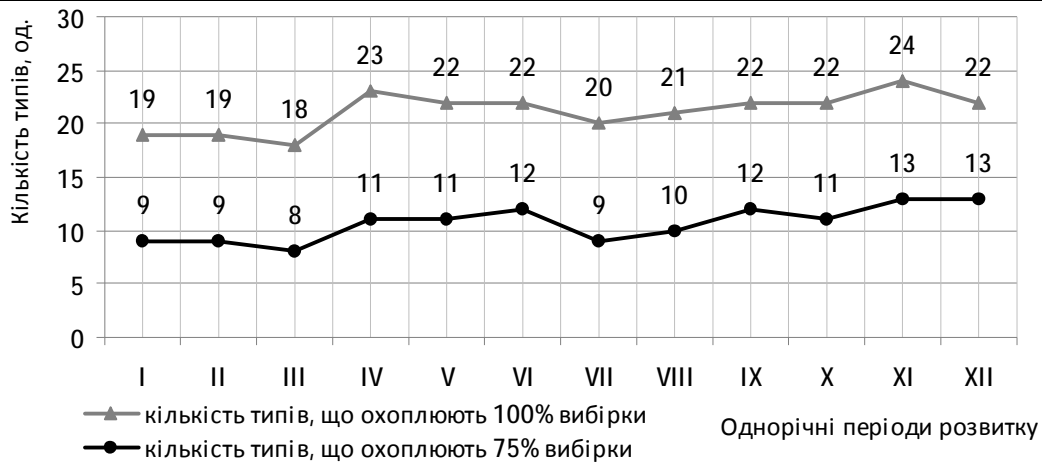


Рис. 2. Динаміка зміни кількості типів фігур дівчаток шкільного віку, які визначено за пропорційною характеристикою їх тіла у профільній площині об'ємного простору

Таблиця 3

Частота зустрічності (%) типів фігур дівчаток шкільного віку згідно їх систематизації у горизонтальній площині об'ємного простору

Варіанти типів фігур Код типу та його назва						Вікова група												Середнє значення у вибірці по рівнях систематизації:			
						молодша шкільна				старша шкільна				підліткова							
						Однорічний період															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Багаторівнева систематизація типів фігур за показниками індексів К ₁ :	перший рівень (К _{1г})	1. Передньо-задній	1. Передньо-задній	1. Передньо-задній	2	4	4	4	2	6	2	6	6	6	2	6	6	2	3,5	10,1	30,9
				2. Рівноважний	2	4	4	6	6	6	4	4	4	8	4	4	4,7				
				3. Поперечний			4		5	4	2	4		2	2	1,9					
		2. Рівноважний	1. Передньо-задній	4		2	2	2	2	4	4	8	8	3,2	16,4						
			2. Рівноважний	10	8	14	4	7	6	12	12	17	12	2		6	9,2				
			3. Поперечний	6	8	2	2	2		6	2	4	2	6		8	4,0				
	3. Поперечний	1. Передньо-задній		2		2					2		2	0,7	4,4						
		2. Рівноважний	4		4	2	8	2	2	2		2		2,2							
		3. Поперечний	2				6	2	2			2	4	1,5							
	другий рівень (К _{2г})	1. Передньо-задній	1. Передньо-задній	1. Передньо-задній	2	6	6		4	2	6				4	2	2,7	9,2	39,6		
				2. Рівноважний	2	4	4	8	5	6	8	4	4		4	8	4,3				
				3. Поперечний		2		2	2	2	2	4	2	4	4	2	2,2				
2. Рівноважний		1. Передньо-задній	6	4	2	2	4	8	2	8	6	4	6	8	4,7	20,8					
		2. Рівноважний	16	10	16	16	8	15	8	12	11	10	10	6	11,5						
		3. Поперечний	10	4	4	4	2	2	6	6	3	6	4	4	4,6						
3. Поперечний		1. Передньо-задній	2		2	2			2	2	2	2	4	2	1,5	9,6					
		2. Рівноважний	2		6	16	10	4	10	2	2		4	2	4,8						
		3. Поперечний	4	2	4	2	8	2	2	2	2	2	6	6	3,3						
3. Поперечний		1. Передньо-задній	1. Передньо-задній	1. Передньо-задній	2		2	2	4		6		4		2	1,8	4,4	28,7			
				2. Рівноважний	2			4	2	6	2		4	2	2	2,0					
				3. Поперечний			2					3			2	0,6					
	2. Рівноважний	1. Передньо-задній		2		2			6	6	8	6	6	3,0	14,2						
		2. Рівноважний	12	18	12	4	10	4	4	10	6	12	4	8		8,7					
		3. Поперечний	6	10	2		2	2		2		2	4	2,5							
	3. Поперечний	1. Передньо-задній		4		2	2	3	2	2		2	2	2	1,7	10,1					
		2. Рівноважний	4	4	6	2	2	3	6	6	6	2	2	6	4,1						
		3. Поперечний		4	4	8	6	8		2	6	4	6	4	4,3						

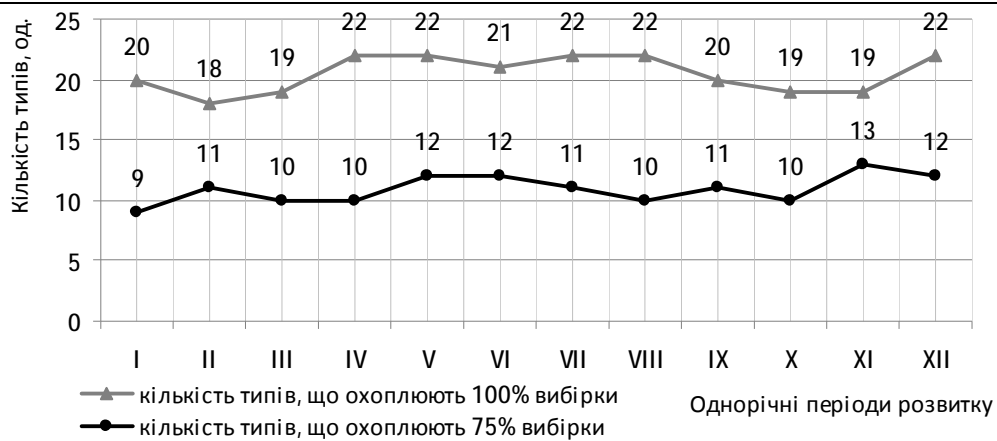


Рис. 3. Динаміка зміни кількості типів фігур дівчаток шкільного віку, які визначено за пропорційною характеристикою їх тіла у горизонтальній площині об'ємного простору

На рис 1 простежена динаміка кількісних змін у складі всіх типів фігур, що зустрілись у 100 % вибірки та найбільш поширених типів, які охоплюють 75 % вибірки. Встановлено, що найбільш поширених типів фігур майже у два рази менше, ніж їх зустрілось у вибірці в цілому, тобто майже половина типів фігур не характерна дівчаткам шкільного віку. Виключенням є перший і другий однорічні періоди розвитку дівчаток (молодша шкільна група), для яких не характерні аж дві треті типів фігур, які визначено при дослідженні. Фігури дівчаток даних однорічних періодів менш різноманітні тому, що вони не увійшли в активну фазу фізичного розвитку їх організму (відсутні значні зміни по габаритним параметрам тіла, які і визначають пропорційну будову фігури у фронтальній площині).

В процесі зростання серед фігур дівчаток з'являється більше типів (тип 1 та тип 3), які мають суттєві відхилення від нормальної (тип 2) будови тіла. В результаті чого питома вага типу 2.2.2 суттєво зменшується від першого (42 %) до дванадцятого (12 %) однорічного періоду розвитку дитини.

Для проектування одягу дуже важливим є якісний склад визначених типів фігур. Для вибірки в цілому мало характерні наступних чотири типа: тип 1.2.1. (1,5 %), тип 3.1.3. (0,5 %), тип 3.2.3 (0,3 %) та тип 3.3.3 (0,7 %). Для фігур дівчаток молодшої шкільної групи зовсім не зустрілись у вибірці такі типи: тип 1.1.1, тип 3.2.3 та тип 3.3.3, для старшої шкільної – тип 2.3.1, для підліткової тип 3.1.3.

Дуже важливим є визначення найбільш поширених типів фігур у досліджуваній вибірці, які охоплюють 75 % її об'єму. Встановлено, що у однорічних періодах розвитку їх склад змінюється стрибкоподібно. В таблиці 4 приведені кількісні зміни у складі типів фігур у вікових групах, які визначались відношенням різниці між кількістю типів у останньому та першому однорічних періодах розвитку дівчаток відповідної вікової групи до кількості типів у першому періоді даної вікової групи. Отримані результати свідчать, що найбільший приріст типів фігур спостерігається у молодшій шкільній групі (100 %) та підлітковій (20 %), по старшій шкільній групі кількість типів фігур скорочується на 25 %, це пояснюється затуханням процесів росту організму дитини після виходу з активної фази розвитку.

Якщо проаналізувати вибірку в цілому за їх морфологічними типами, то можна відмітити, що серед дівчаток шкільного віку на першому рівні класифікаційного групування більш поширені вузькоскладені (28,0 %), ніж широкоскладені фігури (20,0 %). Вузькоскладеним та широкоскладеним фігурам на другому рівні класифікаційного групування в однаковій мірі характерні фігури як доліхоморфного (відповідно 8,7 % та 5,2 %), так і брахіморфного (відповідно 7,1 % та 6,2 %) типів пропорцій по довжині тіла. На третьому рівні класифікаційного групування серед вузькоскладених фігур, незалежно від типу пропорцій по довжині тіла, більш характерний верхній тип тулубу по ширині тіла (2,3 % та 2,7 %), навпаки серед широкоскладених – нижній (2,0 % та 2,3 %).

Таблиця 4

Динаміка кількісних змін у складі типів фігур дівчаток шкільного віку в процесі їх зростання за загальною характеристикою їх об'ємно-просторової форми тіла.

Назва площини об'ємного простору фігури	Об'єм вибірки, %	Кількість типів фігур, од.											Кількісні зміни у складі типів фігур у вікових групах, %			
		Вікова група											молодша шкільна	старша шкільна	підліткова	
		молодша шкільна			старша шкільна			підліткова								
		Однорічні періоди											молодша шкільна	старша шкільна	підліткова	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII					
Фронтальна	100	15	15	16	20	19	21	21	19	19	22	24	21	26,7	-9,5	-48
	75	5	6	8	10	10	12	9	10	9	10	13	12	100,0	-25,0	20,0
Профільна	100	19	19	18	23	22	22	20	21	22	22	24	22	15,8	0	0
	75	9	9	8	11	11	12	9	10	12	11	13	13	22,2	0	18,2
Горизонтальна	100	20	18	19	22	22	21	22	22	20	19	19	22	10,0	-4,8	15,8
	75	9	11	10	10	12	12	11	10	11	10	13	12	33,3	-8,3	20,0

У профільній площині об'ємного простору також більш різноманітні фігури дівчаток старшої шкільної та підліткової вікових груп, ніж молодшої шкільної, але в меншій мірі у порівнянні з фронтальною площиною. Динаміка їх змін наведена на рис. 2 та в таблиці 4.

За отриманими даними визначено, що в процесі розвитку дитини кількість найбільш поширених типів їх фігур у профільній площині майже у два рази менша ніж у вибірці в цілому по всіх вікових групах. В процесі зростання з'являється більше типів фігур, які мають суттєві відхилення від нормальної будови тіла. Подібно змінам у фронтальній площині питома вага типу 2.2.2 суттєво зменшується від першого (24 %) до дванадцятого (6 %) однорічного періоду розвитку дитини.

Відмічено, що деякі типи фігур, що мають досить суттєві відхилення від нормальної будови тіла, мало характерні для фігур дівчаток досліджуваного віку або зовсім не зустрілись у вибірці. Так для вибірки в цілому мало характерні наступні типи: тип 1.1.1 (1,3 %), тип 1.1.3 (1,3 %) та тип 3.1.3 (1,3 %). Серед дітей молодшої шкільної групи не зустрілись такі типи – тип 1.3.1, тип 3.3.3; мало характерні – шість типів. Для дівчаток старшої шкільної та підліткової вікових груп у порівнянні з молодшою шкільною групою визначена менша кількість мало характерних їм типів: старша шкільна – п'ять типів, підліткова – шість.

За результатами отриманих даних (див. табл. 4) встановлено, що суттєвій приріст найбільш поширених типів фігур спостерігається у молодшій шкільній групі (22,2 %) та підлітковій (18,2 %), по старшій шкільній групі кількість типів фігур не змінюється.

За аналізом вибірки в цілому у профільній площині на першому та на другому рівнях класифікаційного групування фігур не визначено переважаючих морфологічних типів, які мають суттєві відхилення від нормальної будови тіла. Так у досліджуваній вибірці майже в однаковій степені поширені типи фігур зі зменшеним (26,2 %) та збільшеним (27,6 %) прогином хребта по лінії шиї. Вищезазначеним фігурам майже в однаковій степені характерні як зменшений (відповідно 8,3 % та 6,9 %) так і збільшений (відповідно 7,1 % та 6,9 %) прогин хребта по лінії талії. Встановлено, що на третьому рівні класифікаційного групування фігурам зі зменшеним прогином хребта по лінії шиї (незалежно від типу прогину по лінії талії) більш характерні фігури зі збільшеним виступом грудей (відповідно 2,3 % та 2,5 %); та навпаки фігурам зі збільшеним прогином по лінії шиї – фігури зі зменшеним виступом грудей (відповідно 2,3 % та 2,6 %).

У горизонтальній площині об'ємного простору динаміка змін типів фігур дівчаток шкільного віку досить подібна профільній площині (див. рис. 1 та табл. 4). Слід відмітити, що подібно змінам у фронтальній та профільній площинах питома вага типів, що наближені до нормальної тілобудови зменшується від першого до дванадцятого однорічного періоду розвитку дитини наступним чином: тип 2.2.2 – з 16 % до 6 %, тип 1.2.2 – з 10 % до 6 %, тип 3.2.2 – з 12 % до 8 %.

Для досліджуваної вибірки в цілому майже не характерні наступні типи: тип 1.3.1 (0,7 %) та тип 3.1.3 (0,6 %). Тільки серед дітей старшої шкільної групи не зустрівся лише один тип (тип 1.3.1), у інших вікових групах виявлені всі типи фігур згідно розробленого у роботі класифікаційного групування. Таким чином можна зробити висновок, що фігури дівчаток шкільного віку більш різноманітні у горизонтальній площині, ніж у профільній та фронтальній. Однак у всіх вікових групах зростає кількість мало характерних типів фігур, так для дівчаток молодшої шкільної групи таких типів зустрілось десять одиниць, для старшої шкільної – вісім, для підліткової – дванадцять.

За даними таблиці 4 визначено, що кількісні зміни у складі найбільш поширених типів фігур у горизонтальній площині подібні змінам у профільній та фронтальній: по молодшій шкільній та підлітковій групах кількість типів зростає відповідно на 33,3 % та 20 %, по старшій шкільній – зменшується на 8,3 %.

За аналізом вибірки в цілому у горизонтальній площині на першому рівні класифікаційного групування типів фігур, що визначені у роботі, встановлено, що переважаючим морфологічним типом, але не в значній мірі, є передньо-задній тип по лінії грудей (30,9 %), ніж поперечний (28,7 %). Відмінністю розподілу типів фігур у горизонтальній площині на першому рівні класифікаційного групування є те, що середній тип (тип 2) менш поширений (39,6 %), ніж у профільній (46 %) та фронтальній (52 %) площинах. Це також пояснює підвищення різноманітності типів фігур у горизонтальній площині, ніж у профільній та фронтальній.

Передньо-задньому типу по лінії грудей на другому рівні класифікаційного групування більш характерний передньо-задній тип по лінії талії (10,1 %), ніж поперечний (4,4 %); відповідно поперечному типу по лінії грудей – поперечний тип по лінії талії (10,1 %), ніж передньо-задній (4,4 %).

Передньо-задньому типу по лінії талії (незалежно від типу по лінії грудей) на третьому рівні класифікаційного групування більш характерний передньо-задній тип по лінії стегон (відповідно 3,5 % та 1,8 %), ніж поперечний (відповідно 1,9 % та 0,6 %), аналогічно – поперечному типу по лінії талії більш характерний поперечний тип по лінії стегон (відповідно 1,5 % та 4,3 %), ніж передньо-задній (відповідно 0,7 % та 1,7 %).

Вище виконаний аналіз розподілу типів фігур дівчаток шкільного віку у досліджуваній вибірці було виконано згідно діючої на теперішній час у промисловості вікової періодизації розвитку дівчаток шкільного віку [5]. Однак у роботі [6] за характером розподілу типів фігур дівчаток шкільного віку за ведучими розмірними ознаками було запропоновано удосконалити діючу вікову періодизацію шляхом зміни граничних меж у вікових групах наступним чином: до молодшої шкільної групи віднести дівчаток віком від 6,6 до 10,5 років (з першого по четвертий однорічні періоди розвитку), до старшої – від 10,6 до 14,5 років (з п'ятого по восьмий) та до підліткової з 14,6 до 18 років (з дев'ятого по дванадцятий). За аналізом [7] було визначено, що запропонована вікова періодизація розвитку дівчаток шкільного віку сучасного покоління, які мешкають на території України, відповідає віковій періодизації розвитку дівчаток Російської Федерації.

Остання розроблена за результатами антропометричного обстеження населення, проведеного на їх території, у 2002 році.

Було встановлено, що за запропованою періодизацією розвитку дівчаток шкільного віку, у кожній віковій групі розподіл типових фігур, визначених за ведучими розмірними ознаками, більш однорідний у порівнянні з діючою періодизацією. Вона дозволяє при розробці класифікації типових фігур для цілей проектування одягу зменшити їх кількість без зниження ступеня задоволеності дитячого населення співрозмірним високоякісним одягом вітчизняного виробництва.

Тому, у подальшій роботі був проведений аналіз змін у розподілі типів фігур дівчаток у вікових групах, які визначено за пропорційною будовою їх тіла, при переході від діючої у швейній промисловості вікової періодизації розвитку дівчаток шкільного віку до запропованої.

Спочатку були визначені кількісні зміни у складі найбільш поширених типів фігур дівчаток досліджуваного віку при переході від діючої до запропованої періодизації. Результати отриманих досліджень наведені у таблиці 5. Встановлено, що найбільш значні зміни відбулися у молодшій шкільній групі: загальна кількість найбільш поширених типів зменшилась у всіх площинах об'ємного простору фігури (фронтальна – на 14,3 %, профільна – на 17,64 % та горизонтальна – на 5,88 %). У інших вікових групах відмічено незначні зміни. Так у старшій шкільній – збільшилась кількість типів у горизонтальній та фронтальній площинах (відповідно на 6,25 % та 5,26 %), але зменшилась у профільній – на 5,26 %. У підлітковій групі спостерігається збільшення кількості типів у фронтальній (5,56 %) та профільній (5,26 %), у горизонтальній – зміни відсутні. В цілому по вікових групах маємо тенденцію до зменшення загальної кількості типів фігур дівчаток, що визначені за пропорційною будовою тіла.

Більш інформативну інформацію надають якісні зміни, які відбулися у складі типів фігур при переході від діючої вікової періодизації до запропованої. Так у таблиці 6 представлені типи фігур, що співпали у двох вікових групах. Встановлено, що найбільші якісні зміни відбулися у складі типів фігур між молодшою та старшою шкільними групами, а також між молодшою шкільною та підлітковою. Кількість однакових типів, що співпали у молодшій та старшій шкільних групах суттєво зменшилась у фронтальній (15,4 %) та профільній (16,7 %) площинах, однак збільшилась, але в меншій мірі, – у горизонтальній (7,1 %). Закономірності змін однакових типів фігур, що співпали у молодшій шкільній та підлітковій групах подібні вище проаналізованим групам: зменшилась кількість типів у фронтальній (8,3 %) та профільній (20 %) площинах, у горизонтальній – змін не відбулося. Кількість однакових типів, що співпали у старшій шкільній та підлітковій групах змінилась не суттєво: у фронтальній зменшилась на 7,7 %, але у профільній збільшилась на 6,7 %, у горизонтальній – змін не відмічено.

Таблиця 5

Визначення кількісних змін у складі найбільш поширених типів фігур дівчаток шкільного віку за діючою та запропованою віковими періодизаціями.

Назва площини об'ємного простору фігури	Кількість типів фігур, од.						Зміни у складі типів фігур за результатами переходу від діючої до запропованої періодизації (%)		
	вікова група								
	молодша шкільна		старша шкільна		підліткова				
	Вікові періодизації								
	діюча	запропонована	діюча	запропонована	діюча	запропонована	молодша шкільна	старша шкільна	підліткова
Фронтальна	14	12	16	17	18	19	-14,30	6,25	5,56
Профільна	17	14	19	18	19	20	-17,64	-5,26	5,26
Горизонтальна	17	16	19	20	15	15	-5,88	5,26	0

Таблиця 6

Визначення якісних змін у складі найбільш поширених типів фігур за діючою та запропованою віковими періодизаціями розвитку дівчаток шкільного віку

Назва площини об'ємного простору фігури	Кількість типів фігур, що співпадають у двох вікових групах, од.						Зміни у складі типів фігур за результатами переходу від діючої до запропованої вікової періодизації					
	молодша та старша		старша та підліткова		молодша та підліткова							
	Вікові періодизації						молодша та старша		старша та підліткова		молодша та підліткова	
	діюча	запропонована	діюча	запропонована	діюча	запропонована	од.	%	од.	%	од.	%
	Фронтальна	13	11	13	12	12	11	-2	-15,4	-1	-7,7	-1
Профільна	12	10	15	16	15	12	-2	-16,7	1	6,7	-3	-20,0
Горизонтальна	14	15	14	14	13	13	1	7,1	0	0	0	0

За проведеним аналізом змін однакових типів фігур, що співпали у двох вікових групах, при переході від діючої до запропованої періодизації розвитку дівчаток шкільного віку встановлено, що найбільші зміни відбулися у фронтальній та профільній площинах об'ємного простору фігури, найменші – у горизонтальній. Вище зазначені зміни у вікових групах, що відбулись при переході від діючої до

запропонованої періодизації розвитку дівчаток шкільного віку пояснюються тим, що типи фігур менш характерні дівчаткам молодшої шкільної групи (п'ятий однорічний період) переведено у старшу шкільну групу, у якій вони більш поширені, це також стосується типів фігур мало характерних дівчаткам старшої шкільної групи (дев'ятий однорічний період), які відповідно переведено у підліткову групу.

Отримані результати кількісних і якісних змін у вікових групах досліджуваній вибірці підтверджують те, що згідно запропонованої вікової періодизації розвитку дівчаток шкільного віку досліджувана вибірка стає більш однорідною у вікових групах, тому що зменшується у кожній з вікових груп кількість типів фігур, які виділено не тільки за ведучими розмірними ознаками, а також за співвідношеннями розмірних ознак, тобто за пропорційною будовою тіла.

Висновки та рекомендації

Виконано систематизацію фігур дівчаток шкільного віку у однорічних періодах розвитку за загальною характеристикою будови їх тіла у трьох площинах об'ємного простору. Фігури дівчаток більш різноманітні у горизонтальній площині, ніж у профільній та фронтальній. У фронтальній площині більш різноманітні фігури дівчаток старшої шкільної та підліткової, ніж молодшої шкільної групи (перший та другий однорічні періоди розвитку) тому, що фізичний розвиток організму останніх не увійшов в активну фазу, тобто відсутні значні зміни по габаритних параметрах тіла, які і визначають пропорційну будову фігури у даній площині.

Визначено найбільш поширені типи фігур та характер їх розподілу у вибірці в цілому, у вікових групах та у однорічних періодах розвитку. Встановлено, що найбільш поширених типів фігур майже у два рази менше, ніж їх зустрілось у вибірці, тобто майже половина типів фігур мало характерна дівчаткам шкільного віку. В процесі зростання серед фігур дівчаток з'являється більше типів, які мають суттєві відхилення від нормальної будови тіла, відповідно питома вага типів, що наближені до нормальної тіло будови – зменшується. Найбільший приріст типів фігур спостерігається у молодшій шкільній та підлітковій групах, у старшій шкільній групі в процесі зростання кількість типів фігур скорочується, що пояснюється затуханням процесів росту організму дитини після виходу з активної фази розвитку.

Обґрунтовано доцільність удосконалення існуючої вікової періодизації розвитку дівчаток шкільного віку за характером розподілу типів фігур, що визначені за пропорційною будовою тіла. Аналіз кількісних і якісних змін типів фігур у вікових групах дозволив підтвердити, що згідно запропонованої вікової періодизації розвитку дівчаток шкільного віку досліджувана вибірка стає більш однорідною у вікових групах, тому що зменшується у кожній з вікових груп кількість типів фігур. Це у подальшому буде сприяти удосконаленню процесу проектування дитячого одягу в умовах масового виробництва шляхом скорочення об'єму виконання проектно-конструкторських робіт на етапі композиційно-конструктивного вирішення нових моделей одягу.

Література

1. Антропометрическая стандартизация населения стран – членов СЭВ / [Ю.С. Куршакова, Т.Н. Дунаевская, Т.Ф. Дурьгина и др.] _ М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 200 с.
2. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии : [учеб. пособ. для студ.] / Т.Н. Дунаевская, Е.Б. Коблякова, Г.С. Ивлева, Р.В. Иевлева / [под ред. Е.Б. Кобляковой]. – М.: Мастерство; “Академия”, 2001. – 288 с.
3. Кудрявцева Н.В. Використання елементів САПР для визначення індивідуальних особливостей людини з метою систематизації типів її тілобудов / Н.В. Кудрявцева, І.В. Савіцька // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2007. – Т.2, № 6, Т. – С. 10-16.
4. Дітковська О.А. Систематизація форм тіла дівчаток молодшої шкільної групи за загальною об'ємно-просторовою характеристикою тілобудови / О.А. Дітковська, Н.В. Кудрявцева // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2007. – Т.2, № 6. – С. 84-88.
5. Фигуры девочек типовые. Размерные признаки для проектирования одежды : ГОСТ 17916-86. – Изм. 1, 2 (ИУС. 1989. № 12; ИПС. 2005. № 12). – Взамін ГОСТ 17916-72; введ. 1987-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 86 с.
6. Кудрявцева Н.В. Особливості антропометричного розвитку сучасного дитячого населення шкільного віку / Н.В. Кудрявцева, О.А. Дітковська // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2006 – № 4. – С. 114 – 121.
7. Типовые фигуры девочек. Величины размерных признаков для проектирования одежды из ткани, трикотажа и меха / ЦНИИШП. – М.: ОАО. ЦНИИШП, 2002. – 61 с.

Надійшла 19.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. А.Л. Славінська

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАТИОННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХЛОПЧАТОБУМАЖНОГО ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

В статье исследовано влияние катионных полиэлектролитов на электрокинетические свойства хлопчатобумажного текстильного материала. Установлено, что предварительная обработка текстильного материала растворами катионных препаратов приводит к изменению отрицательного заряда волокна на положительный. Полученные данные могут быть использованы для разработки безэлектролитных технологий крашения красителями анионного типа.

Ключевые слова: катионные полиэлектролиты, хлопчатобумажный текстильный материал.

In article influence of cationic polyelectrolyte on electro-kinetic properties of a cotton textile material is investigated. It is established, that preliminary processing of a textile material by solutions of cationic preparations leads to change of a negative charge of a fibre on the positive. The data obtained can be used to develop technologies without electrolytic dyeing anionic dyes.

Keywords: cationic polyelectrolyte, cotton textile.

Постановка проблемы

Процесс крашения хлопчатобумажных текстильных материалов основывается на физико-химических явлениях взаимодействия красителя с целлюлозным волокном, проходящих, прежде всего, через начальный процесс адсорбции на поверхности, как самого волокна, так и его субмикроскопических капилляров.

При соприкосновении с водной фазой поверхность хлопчатобумажного текстильного материала, на которой происходит адсорбция красителя, приобретает отрицательный заряд. В основе этого явления лежит образование двойного электрического слоя (ДЭС) за счет первичной адсорбции ионов на границе раздела фаз (рис. 1).

Водорастворимые активные красители в водной среде и в среде полярных растворителей также несут на себе ионный отрицательный заряд, поэтому между волокном и красителем в процессе диффузии проявляются силы электростатического отталкивания.

При этом, состояние поверхности волокнистого материала ввиду наличия на волокне определенной величины и знака заряда – электрокинетического или ζ (дзета)-потенциала – является в ряде случаев определяющим как для качества, так и для интенсивности окраски текстильной продукции.

При введении во внешний раствор катионов, для которых характерна специфическая адсорбция по отношению к поверхности целлюлозного материала, происходит не только снижение отрицательного значения ζ -потенциала, но и перезарядка на положительный.

Однако для красильно-отделочного производства данные методы до сих пор остаются новыми в связи со слабой изученностью их влияния на процессы текстильной химии.

Анализ последних исследований и публикаций

В последние годы интенсивно ведутся исследования, направленные на изучение влияния электрокинетических свойств волокнистых материалов на процесс крашения [1-3]. Первые работы по изучению электрокинетического потенциала, главным образом, целлюлозных волокон, и взаимосвязи с крашением их различными красителями были проведены Ф.И. Садовым, Л.И. Беленьким и Б.Н. Мельниковым [4-6]. Значительное место вопросам влияния ζ -потенциала волокон на процессы крашения красителями различных классов отведено в известных монографиях [7-8].

Однако, нельзя утверждать, что исследования в области влияния электрокинетических свойств уже исчерпаны. Совместное изучение явлений адсорбции красителя поверхностью волокна и его электрокинетических свойств представляет значительный интерес для построения теоретических основ в области оптимизации процессов крашения текстильных изделий.

Формулировка целей исследования

Цель работы заключалась в исследовании влияния катионоактивных полиэлектролитов на электрокинетические свойства хлопчатобумажного текстильного материала.

Изложение основного материала

Применительно к задачам исследования электрокинетических свойств волокнистых материалов

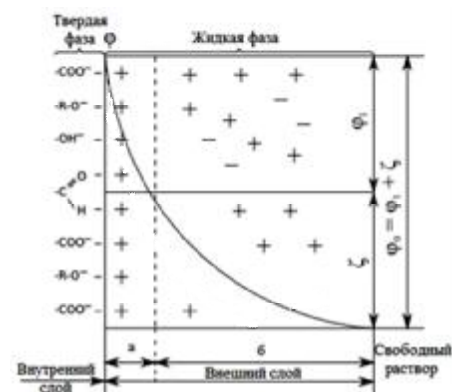


Рис. 1. Схема ДЭС на поверхности целлюлозного волокна

(R – COO⁻ – остатки молекул целлюлозы в виде диссоциированных карбоксильных групп; – R – O⁻ – в виде диссоциированных энольных групп);

а – адсорбционный неподвижный слой противоионов; б – диффузионная часть двойного электрического слоя;

Φ₀ – полный фазовый потенциал;

Φ₁ – изменение полного фазового потенциала;

ζ – величина дзета-потенциала.

наиболее распространенными являются методы тока течения и потенциала протекания.

Метод тока течения является более предпочтительным тогда, когда невозможно измерить поверхностную проводимость для капиллярных систем:

$$\zeta = \frac{4phCdI_s}{eP}, \quad (1)$$

где Cd – постоянная ячейки;
 P – перепад давлений.

Но измерение тока течения I_s , ограничено рядом условий. Непосредственно измерить величину I_s во многих случаях затруднительно, поскольку поляризация электродов может изменять эффективное сопротивление измерительной цепи, которое в методе тока течения должно быть намного меньше, чем сопротивление диафрагмы R_d .

В работе [9] предложен косвенный метод определения тока течения I_s , заключающийся в том, что параллельно измерительной ячейке подключают шунт с переменным сопротивлением R и потенциал течения измеряют при различных сопротивлениях R .

В стационарном состоянии I_s равен сумме встречных токов через диафрагму I_d и через шунт I :

$$I_s = I_d + I = \frac{E}{R_d} + \frac{E}{R}. \quad (2)$$

В случае, когда сопротивление диафрагмы меньше 10^5 Ом предпочитают применять менее трудоёмкий метод определения ζ -потенциала – метод потенциала протекания.

Связь между потенциалом протекания и ζ -потенциалом выражается уравнением Гельмгольца-Смолуховского с учетом поверхностной проводимости:

$$\zeta = \frac{4phKdE}{eP}, \quad (3)$$

где E – потенциал протекания;
 P – перепад давлений;
 η – коэффициент вязкости;
 ε – диэлектрическая проницаемость; $Kd = K + K_s$.

Поскольку величина ζ -потенциала определяется по потенциалу протекания и в меньшей степени зависит от структурных свойств исследуемой капиллярной системы, при использовании потенциала протекания нет опасности возникновения нагревания, связанного с наложением электрического поля.

Определение ζ -потенциала хлопчатобумажного волокна проводили методом потенциала протекания с помощью установки представленной на рис. 2.

Первоначально измеряли разность потенциалов между электродами без давления π_0 , т.е. потенциал асимметрии, который входит составной частью в измеренную величину разности потенциалов в растворе и, в зависимости от знака, может увеличить или уменьшить ее. Затем измеряли разность потенциалов π_i при различных давлениях.

Величина разности потенциалов, измеренная после прекращения протекания или после достижения равновесия, обычно значительно отличается от потенциала асимметрии, поэтому авторы [10-11] вводят понятие аддитивного потенциала. Причиной появления аддитивного потенциала являются процессы, происходящие при пропускании раствора через ячейку (фильтрационный эффект, адсорбционные явления на электродах и др.).

Потенциал протекания E определяется как разность $\pi_i - \pi_0$.

Поскольку практически невозможно определить коэффициент и диэлектрическую проницаемость в пределах ДЭС, при работе с водными растворами, используются соответствующие значения для дистиллированной воды, а именно $\eta = 0,01$ П и $\varepsilon = 81$ и формула для вычисления ζ -потенциала при 20°C принимает следующий вид:

$$z = 1,05 \cdot 10^5 c_0 \frac{E}{P}. \quad (4)$$

Таким образом, для вычисления электрокинетического потенциала необходимо экспериментально определить потенциал протекания (E), давление (P), при котором раствор протекает через ячейку, и удельную электропроводность диафрагмы (χ_0).

Исследования проводили на отбеленной хлопчатобумажной ткани арт. 3В1-157-4КД, используя следующие катионные полиэлектролиты – КП.1, КП.2, КП.3 и КП.4. Концентрации катионоактивных препаратов варьировали от 0,25 до 20 г/л.

На рис. 3 приведена зависимость ζ -потенциала катионизированного хлопчатобумажного волокна от концентрации катионоактивных препаратов.

Согласно полученным данным (рис. 3) установлено, что электрокинетический потенциал хлопчатобумажного волокна составляет $-28,64$ мВ. При обработке текстильного материала катионоактивным препаратом КП.1 (20 г/л) ζ -потенциал волокна возрастает до $7,8$ мВ, причем при

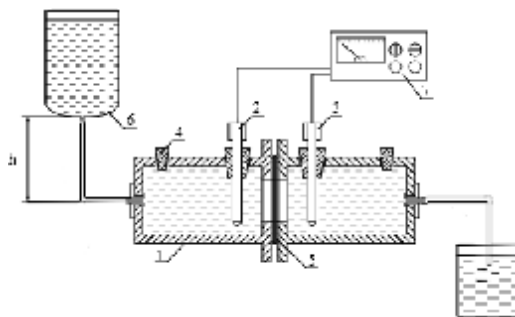


Рис. 2. Схема установки для определения ζ -потенциала волокна методом потенциала протекания: 1 – корпус рабочей камеры; 2, 3 – электроды; 4 – отверстие для удаления воздуха из рабочей камеры; 5 – исследуемый образец; 6 – емкость с раствором; 7 – иономер ИВ-180.

концентрации препарата 10 г/л отрицательный заряд волокна изменяется на положительный и составляет 4,2 мВ. Катионоактивный препарат КП.2 перезаряжает волокно при концентрации 5 г/л – 3,7 мВ, при 20 г/л препарата электрокинетический потенциал волокна возрастает до 12,7 мВ. Наиболее эффективным является препарат КП.3, который вызывает перезарядку волокна при концентрации 0,25 г/л – 0,5 мВ, а при 20 г/л ζ -потенциал возрастает до 15,1 мВ. Препарат КП.4 (20 г/л) способствует повышению электрокинетического потенциала хлопчатобумажного волокна до 9,2 мВ.

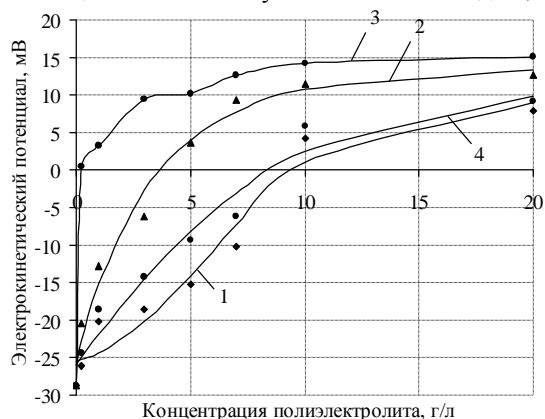


Рис. 3. Влияние катионных препаратов на электрокинетический потенциал хлопчатобумажного волокна: 1 – КП.1; 2 – КП.2; 3 – КП.3; 4 – КП.4

Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований влияния катионных полиэлектролитов на ζ -потенциал хлопчатобумажного волокна установлено, что предварительная обработка текстильного материала катионоактивными препаратами КП.1, КП.2, КП.3 и КП.4 способствует изменению отрицательного заряда волокна на положительный, что дает предпосылки использования катионных препаратов в процессе крашения активными красителями без использования в составе краильного раствора нейтрального электролита.

Литература

1. Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности: сборник материалов Международной научно-технической конференции (ПРОГРЕСС – 2010). Ч. 1 / Ивановская государственная текстильная академия. – Иваново: Ивановская государственная текстильная академия, 2010. – С. 85-86.
2. Martin A.H. Sensing the electrokinetic potential of cellulosic fiber surfaces / A.H. Martin // Bio Resources. – 2006. – № 1 (1). – P. 116-149.
3. C. Bellmann Electrokinetic properties of natural fibres / C. Bellmann, A. Caspari, T.T. Loan Doan, E. Mader // International Electrokinetics Conference, Pittsburgh. – 2004. – № 1. – P. 1-14.
4. Садов Ф.И. Некоторые вопросы современной теории крашения волокнистых материалов. Конспект лекций / Ф.И. Садов. – М.: Гизлегпром, 1952. – 16 с.
5. Беленький Л.И. Теория крашения и опыт ее практического применения / Л.И. Беленький. – М.: Гизлегпром, 1958. – 189 с.
6. Мельников Б.Н. Физико-химические основы процессов отделочного производства / Б.Н. Мельников, Т.Д. Захарова, М.Н. Кириллова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 280 с.
7. Голованов Е.Н. Исследование электрокинетических свойств полиамидного волокна капрон при взаимодействии с кислотными и кислотными металлосодержащими красителями: дис. ... кандидата тех. наук: 05.19.02 / Голованов Е.Н. – Санкт-Петербург, 1968. – 190 с.
8. Тугуши Л.А. Разработка оптимальных условий процессов крашения текстильных материалов на основе их электрокинетических свойств: дис. ... кандидата тех. наук: 05.19.03 / Тугуши Людмила Александровна. – Санкт-Петербург, 1984. – 170 с.
9. Фридрихсберг Д.А. Электроповерхностные явления в дисперсных системах / Д.А. Фридрихсберг, Н.С. Свердлова. – М.: Наука, 1972. – 87 с.
10. Андросов В.Ф. Крашение пряжи в паковках / В.Ф. Андросов, С.А. Александров, М.И. Артым, В.Б. Кленов, Р.П. Якимчук. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 152 с.
11. Электрокинетические свойства капиллярных систем. Монографический сборник экспериментальных исследований под редакцией О.Н. Григорова и др. – М.: Изд. АН СССР, 1956. – 338 с.
12. Кричевский Г. Е. Химическая технология текстильных материалов : учеб. пос. для вузов в 3-х т. Т. 2. Колорирование текстильных материалов / Г. Е. Кричевский. – М.: Росс. заоч. ин-т текстильной и легкой промышленности, 2001. – 540 с.

Надійшла 15.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Валько М.І.

МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХУТРОВИХ ОВЧИН МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В роботі визначався вплив процесу очищення та знежирення хутрових овчин на механічні та фізико-механічні показники шкірної тканини та волосяного покриву. В результаті аналізу отриманих експериментальних даних обрано оптимальні співвідношення компонентів системи для очищення хутрових шкур, що використовуються для лікування хворих.

Ключові слова: хутровий напівфабрикат, емульсійні системи, межа міцності, еластичність

O.V. SMACHYLO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

MATERIALS CHARACTERISTICS OF MEDICAL SHEEPSKINS

Abstract - The aim of the research - to explore the possibility of using the emulsion systems of reverse type for cleaning and degreasing of sheepskin. Comparison of methods of wool half-finished product processment and picking the most effective method; development of sheepskin purification technology. Treatment of half-finished product and fur products and restore its consumer properties is the most time consuming and problematic task.

Elongation of skin tissue, its flexibility is important during exploitation of medical sheepskins. Loss of elasticity is one of the main causes of defects in the operation and in processing of products, as in this case the effect of any mechanical action on the leather surface rupture ends last. The obtained data show that treatment with organic solvent affects the elasticity of skin tissue, owing to removal of components of fat.

Thus, processing of fur in the emulsions have least effect on strength and deformation properties of the skin than in the treatment with perchloroethylen.

Keywords: medical sheepskin, elongation, physical and mechanical properties

Вступ

Сучасною наукою доведено, що мало що може зрівнятися з цілющою силою хутра. В стародавні часи люди чудово знали про корисний вплив натуральної шерсті на людський організм. Овчини використовували для лікування застуди, при ревматичних болях у суглобах, пневмонії та інших хворобах.

Хутрові овчини мають більший вміст ланоліну, ніж шкіри інших тварин. Ланолін прискорює загоєння ран, переломів і не викликає алергії, тому і входить до складу всіх антиалергійних та протизастудних й косметичних препаратів. Овчина здатна поглинати 33% вологи (для порівняння: бавовна - 8%, а синтетика - 0%). Вона чудово поглинає вологу і при цьому залишається сухою. Овеча шкура являється природним електричним напівпровідником. Вона дозволяє здійснювати природний обмін іонами між людським тілом і навколишнім середовищем і запобігає утворенню статичного заряду. Вона також поглинає піт і токсини, що виділяються тілом людини, і виводить їх назовні у сім разів швидше, ніж це роблять синтетичні матеріали [1].

Овеча шкура забезпечує розслаблення тіла і відновлення його сил. Вона активізує циркуляцію крові і укріплює імунну систему. Оскільки її склад близький до складу людської шкіри, вона бережно відноситься до останньої, і особливо корисна для людей з чутливою шкірою, а також для людей з тенденцією до втрати чутливості шкіри. Крім того, овеча шкура володіє сильними терморегулюючими властивостями, що робить її корисною в застосуванні, як зимою, так і літом [2].

Ще в давні часи недоношених слабких дітей виходжували, загорнувши в хутро. Через багато років досвід сільських знахарів зацікавив вчених. В 1983 році спеціалісти Кембріджського університету провели дослідження по спеціальному догляду за хворими дітьми і їх розвитку. Для них підібрали спеціальні дитячі підстилки і в ході експерименту виявилось, що діти, які народились з дефіцитом маси, чудово набирали вагу. На овечих шкірах діти швидко заспокоювались і менше плакали. Подібні експерименти були проведені в домашніх умовах з нормальними дітьми з таким же чудовим результатом. Можливі варіанти використання хутрових овчин з лікувальним та профілактичним ефектом показано на рис. 1 (а, б, в).



а



б



в

Рис. 1. Використання хутрових овчин медичного призначення

Експериментальна частина

Для очищення та знежирення такого хутрового напівфабрикату ще досить активно використовують

перхлоретилен (ПХЕ). Емульсійні системи дозволяють поєднати переваги “сухого” знежирення перхлоретиленом (легкість видалення жирових речовин) та позитивні якості “вологого” (видалення водорозчинних забруднень). У зв'язку з цим для підвищення ефективності процесів знежирення та очищення напівфабрикату є актуальним застосування водних емульсійних систем зворотного типу, що також дає можливість використовувати існуюче обладнання [3, 4].

Знежирення хутрових шкур сприяє підвищенню блиску волосу, він стає пишнішим і розсипчастим, легко і рівномірно фарбується. Однак, надмірне видалення жиру погіршує фізико-механічні властивості волосу, робить його ламким та матовим у результаті порушення природного укладання поверхневого лускоподібного шару. Деструктивним чином знежирення впливає і на шкірну тканину.

У процесі експлуатації хутрові шкури піддаються складному комплексові фізико-механічних впливів: дії вологи, тепла, багаторазових розтягувань, стиснень, згинання, стирання тощо. Від інтенсивності цих впливів значною мірою залежить період експлуатації. У зв'язку з цим фізико-механічні властивості є важливим фактором, що впливає на якість шкіри і хутра. Необхідність цих досліджень також обумовлена тим, що вони, характеризуючи міцність та деформаційні властивості шкірної тканини та волосу, належним чином відображають зміни, що відбуваються в структурі шкірної тканини і волосу в процесі обробки. Численні дослідження показали, що межа міцності при розтягуванні і видовження при розриві суттєво залежать від вмісту жирових речовин, зміна кількості яких при обробці органічними розчинниками є неминучою. З метою проведення порівняльної характеристики для досліджень використовувались зразки нової хутрової овчини (хутровий напівфабрикат) та зразки шкіри, яка вже була у використанні (БВ). Зразки обробляються у зворотних емульсіях з співвідношенням фаз ПХЕ/Н₂О від 2/8 до 8/2 [5]. Міцність лицьового шару шкіри характеризує її здатність витримувати навантаження, які виникають в процесі пошиття та експлуатації одягу. Кількісними характеристиками міцності є межа міцності при розтягуванні зразків (σ) (табл. 1).

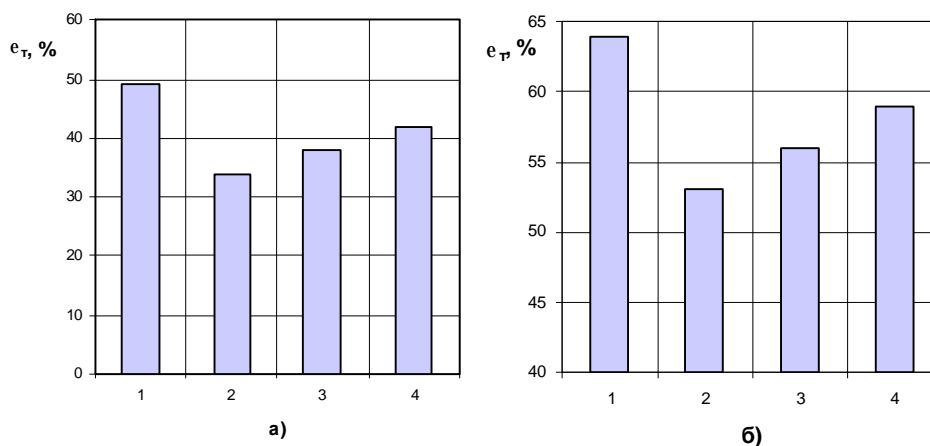
Таблиця 1

Вплив виду обробки зразків овчини хутрової до σ_1 та після σ_2 експлуатації

№ п/п	Умови обробки	σ_1	σ_2
1	Без обробки	13,27	12,88
2	ПХЕ	9,34	10,34
3	Н ₂ О/ПХЕ	10,77	11,38
4	ПАР	10,51	11,24

Як показали дослідження, навантаження при розриві зразків після обробки у чистому ПХЕ зменшується на 23,9 % для нової шкірної тканини та 19,7 % для шкірної тканини б/в, а після обробки в емульсіях на 18,8 % та 11,6 % відповідно. Межа міцності усіх зразків овчини хутрової після обробки у рідкому середовищі зменшується, але якщо після обробки у чистому ПХЕ - на 29,6 % для нової шкірної тканини та на 19,7 % для шкірної тканини б/в, то після обробки в емульсіях - на 18,5 % та 11,6 % відповідно. Таким чином, обробка в емульсійних розчинах більш „м'яка” для шкірної тканини, ніж обробка у чистому ПХЕ, за руйнівним ефектом вона близька до змочування водою за кімнатної температури протягом 15 хв.

Видовження шкірної тканини, її еластичність має велике значення при експлуатації шкур. Втрата еластичності є однією з основних причин появи дефектів, оскільки в цьому випадку вплив будь-якої механічної дії на шкіряну поверхню закінчується розривом останньої (рис. 2).

Рис. 2. Залежність e_T шкірної тканини до (а) та після (б) експлуатації від виду обробки: 1-без обробки, 2-ПХЕ, 3-ПХЕ/Н₂О, 4-ПАР

З наведених даних видно, що обробка органічним розчинником погіршує еластичність шкірної тканини, що пояснюється вимиванням жирових компонентів попередньої обробки. Таким чином, обробка в емульсіях менше впливає на міцність та деформаційні властивості шкіри, ніж обробка у ПХЕ.

При визначенні впливу умов обробки на характеристики міцності та деформації проведені

порівняння між показниками, не враховуючи співвідношення фаз в емульсії, яке змінювалось від 2/8 до 8/2. Важливим є визначення оптимального співвідношення фаз в емульсійному середовищі, при якому зміни у фізико-механічних показниках мінімальні. В таблиці 2 наведені значення межі міцності (σ) та відносних видовжень при навантаженні (ϵ_n) та при розриві (ϵ_r) шкірної тканини овчини нової та експлуатованої після емульсійної обробки, а також показники волосяного покриву.

Таблиця 2

Вплив виду емульсійних обробок на фізико-механічні показники овчини хутрової

№ п/п	Співвідношення Фаз ПХЕ/ H ₂ O	до експлуатації					після експлуатації				
		Шкірна тканина			Міцність волосу, 10 ⁻² Н	Стирання волосяного покриву, %	Шкірна тканина			Міцність волосу, 10 ⁻² Н	Стирання волосяного покриву, %
		σ , МПа	ϵ_n , %	ϵ_r , %			σ , МПа	ϵ_n , %	ϵ_r , %		
1	Без оброб.	13,3	48,8	51,5	40,3	5,2	12,9	44,5	49,9	36,0	7,8
2	2/8	12,8	46,0	49,3	38,2	5,9	11,5	42,3	48,0	29,6	8,6
3	3/7	12,4	44,7	48,7	37,7	6,5	10,6	40,3	46,7	28,4	9,9
4	5/5	11,6	42,0	47,3	37,2	7,8	10,0	38,0	45,0	27,3	11,3
5	7/3	10,5	41,6	45,4	36,4	9,4	9,6	37,7	43,7	26,8	12,2
6	8/2	9,8	40,5	42,2	36,1	10,2	9,0	31,5	40,6	26,3	13,7
7	10/0	9,3	36,7	39,6	34,0	14,2	8,0	28,7	37,5	24,9	17,8

Висновки

Аналіз сучасних тенденцій обробки хутрового напівфабрикату визначив необхідність створення і впровадження нових ефективних технологій, здатних інтенсифікувати обробку і покращити якість готової продукції. Це спонукало до розробки водних емульсійних систем зворотного типу, що вміщують поверхнево-активну речовину, здатну стабілізувати зворотні емульсії, пом'якшити деструктивний вплив перхлоретилену на волос і шкірну тканину та підвищити ефективність знежирення хутрового напівфабрикату.

Порівнюючи отримані дані після обробки хутрового напівфабрикату в емульсійних системах можна зробити висновок, що із збільшенням об'ємної частки розчинника в системі значення показників міцності та деформації шкірної тканини хутрового напівфабрикату зменшуються. Біля 20% міцності втрачають зразки, оброблені емульсією з співвідношенням фаз ПХЕ/H₂O 8/2. Приблизна рівність показників зразків, оброблених при співвідношенні 7/3 та 5/5, свідчить про недоцільність збільшення об'єму водної фази в емульсіях. Найкращими є значення фізико-механічних характеристик зразків обох видів хутра, отриманих після обробки в емульсії при співвідношенні фаз ПХЕ/H₂O 7/3.

Виходячи з результатів визначення властивостей зразків шкіри овчею та б/в, оброблених у чистому ПХЕ та зворотних емульсіях при різному співвідношенні фаз, можна зробити наступні висновки: обробка хутрових шкур у рідкому середовищі (чистий ПХЕ, емульсія ПХЕ/H₂O, розчин ПАР) погіршує її характеристики міцності та деформації, обробка в емульсійних системах менше впливає на втрату міцності та деформації, ніж обробка у чистому ПХЕ.

Література

1. Назарова Т. П. Новые материалы для обезжиривания мехового сырья / Т. П. Назарова, А. А. Анпилогова, Л. С. Дубинина. – Сборник тезисов докладов третьей Межрегиональной научно-практической конференции «Развитие меховой промышленности России». Москва, – 2001. – С. 10–12.
2. Касьян Е. С. Основы технологии шкуры та хутра / Е. С. Касьян – К.:КНУТД, 2001. – 252 с.
3. Kahlweit M., Jen J., Busse G. On the stability of mikroemulsions. J. Chem. Phys. – 1992. – 97, № 9. – P. 6917–6924.
4. Runge F., Rohl W. Electric field induced structure change in nonionic water-in-oil microemulsions//Ber. Bunsenges. phys. Chem. – 1999, № 4. – P. 485–490.
5. Пат. 23197 А Україна, МПК С14С1/00. Склад для знежирення хутрового напівфабрикату / О. В. Смачило, Е. С. Касьян, Г. І. Тарасова. – № 200613915; Заявл. 27.12.2006; Опубл. 10.05.2007; Бюл. – №6. – 4 с.

References

1. Nazarova T. P., Anpilogova A. A., Dubinina L.S. «Novye materialy dlya obezjirivania mehovogo syrja» Sbornik tezisov dokladov tret'ej Mezregionalnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Razvitie mehovoi promyshlennosti Rosii». Moscow, – 2001. – С. 10–12.[in Russian]
2. Kasian E. S. Osnovy tehnologii shkiry ta hutra. Kyiv, KNUVD, 2001. – 252 s.[in Ukrainian]
3. Kahlweit M., Jen J., Busse G. On the stability of mikroemulsions. J. Chem. Phys. – 1992. – 97, № 9. – P. 6917–6924.
4. Runge F., Rohl W. Electric field induced structure change in nonionic water-in-oil microemulsions//Ber. Bunsenges. phys. Chem. – 1999, № 4. – P. 485–490.
5. Pat. 23197 A Ukraine, MPK C14C1/00.Sklad dlja znezhyrennia hutrovoho napivfabrykatu / O. V. Smachylo, E. E. Kasian, G. I. Tarasova. – № 200613915; Zajavl. 27.12.2006; Opubl. 10.05.2007; Biul. – №6. – 4 s. [in Ukrainian]

Надійшла 11.1.2013 р.

СМАЧИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВОЛОКОН ЖИДКОСТЬЮ

В работе рассмотрено использование различных критериев – термодинамических величин, краевого угла смачивания, показателя капиллярности для оценки смачиваемости поверхности волокнистых материалов. Рассмотрена термодинамика смачивания с применением подхода Гуггенгейма к описанию поверхностных явлений. Показано, что величина краевого угла смачивания позволяет определить величину изменения свободной энергии поверхности волокнистого материала при смачивании.

Ключевые слова: краевой угол смачивания, межфазный слой, поверхность волокна

Application different criterions such as thermodynamic rates, contact angle, capillarity index for assess of wettability of surface of fibrous materials was review in this article. Thermodynamics of wettability approach of Guggenheim in operation to description of surface effects was consider. Contact angle permit to determine change of free energy of surface of fibrous materials provided wetting.

Keywords: contact angle, the interphase layer, the surface of the fiber.

Введение

Для текстильных волокнистых материалов на базе синтетических волокон, например, полиэфирных или полиакрилонитрильных важно увеличение гидрофильности и улучшение гигиенических свойств. Капиллярные явления в волокнистых материалах различной природы и назначения оказывают влияние, как на технологические процессы, так и на качество волокнистого материала при его использовании. В частности, в процессе отделки волокнистых материалов смачиваемость волокнистого материала может быть характеристикой очистки поверхности волокон при подготовке полотен к крашению, влиять на процесс крашения и обуславливать, например, гигиенические свойства отделанного волокнистого материала.

Изложение основного материала

Гидрофильность поверхности волокна возможно оценивать с помощью термодинамических критериев [1], с использованием величины краевого угла смачивания [1,2], а также капиллярности полотен [3-5]. Цель работы: сопоставить различные критерии оценки смачиваемости поверхности волокна.

Общим для процессов смачивания и адгезии является существенное влияние межфазных слоев [1,2]. Описание свойств межфазных слоев Гиббсом [6] основано на модели, в которой реальный межфазный слой заменяется разделяющей поверхностью. Уравнение Гиббса для разделяющей поверхности содержит как избыточные величины (разница между моделью и реальным объектом), так и определяемую в эксперименте величину поверхностного натяжения σ [6, с.301]:

$$U_s = TS_s + \sum \mu_{si} n_{si} + \sigma A, \quad (1)$$

где U_s , S_s , n_{si} и μ_{si} – избыточные внутренняя энергия, энтропия, избыточное число молей и химический потенциал i – того компонента разделяющей поверхности Гиббса, соответственно, T – температура.

Уравнение (1) может быть представлено для однокомпонентной системы с использованием избыточных парциальных мольных величин внутренней энергии ($u_{si} = \partial U_s / \partial n_{si}$) и энтропии ($s_{si} = \partial S_s / \partial n_{si}$):

$$n_s u_s = T n_s s_s + \sigma A + n_s \mu_s \quad (2)$$

$$\sigma = n_s (-\mu_s - T s_s + u_s) / A \quad (3)$$

Для эквимолекулярной разделяющей поверхности в однокомпонентной двухфазной системе ($n_s = 0$) все экстенсивные избыточные термодинамические величины, зависящие от количества вещества на разделяющей поверхности, равны нулю. В однокомпонентной системе для эквимолекулярной разделяющей поверхности в модели Гиббса: $\sigma = 0$. Как следствие, экспериментальные величины поверхностного натяжения не могут использоваться в уравнении (1) и в уравнениях для изменения свободной энергии при смачивании или адгезии. Тем не менее, принимается (например, [1-4,7]), что изменение свободной энергии при образовании межфазного слоя равно σA , где A – площадь разделяющей поверхности. Подобный подход к объёмным фазам позволял бы оценивать изменение свободной энергии в общем случае величиной $p \Delta V$, что означало бы нулевые изменения внутренней энергии и энтропии (p – давление, ΔV – изменение объёма).

Гуггенгейм заменил межфазный слой с переменными по толщине свойствами слоем конечной толщины, термодинамические свойства которого постоянны в пределах слоя и эквивалентны свойствам компонентов межфазного слоя. Свободная энергия Гиббса «фазы» Гуггенгейма в интегральной форме [8,9]:

$$G^\sigma = U^\sigma - TS^\sigma + PV^\sigma - \sigma^\sigma A \quad (4)$$

где G – свободная энергия Гиббса, надстрочный индекс σ обозначает термодинамические параметры «фазы» Гуггенгейма; σ^σ – поверхностное натяжение. В общем случае в модели Гуггенгейма величина

поверхностного натяжения не совпадает с величиной свободной энергии Гиббса $\Delta G^\sigma \neq \sigma^\sigma \Delta A$. Различие в знаках для членов, выражающих механическую работу в уравнении (4), связано с тем, что работа, совершаемая над системой, приводит в объемных фазах к уменьшению объема V ($dV < 0$), а в межфазном слое – к увеличению площади A ($dA > 0$).

При появлении новой межфазной области происходит изменение свободной энергии и кроме межфазного поверхностного натяжения появляются соответствующие величины внутренней энергии U^σ , энтропии S^σ , объема V^σ . Для поверхности капли, лежащей на плоской подложке, свободная энергия после смачивания равна $G_2 = \delta S G_{SL}^\sigma$, до смачивания $G_1 = \delta S (G_{LG}^\sigma + G_{SG}^\sigma)$, где S – площадь контакта капли с веществом подложки, δ – толщина межфазного слоя, G_{SL}^σ – свободная энергия единицы объема «фазы» Гуттенгейма, соответствующей межфазному слою между веществом подложки и жидкостью; G_{LG}^σ и G_{SG}^σ аналогично для межфазных слоев жидкость – газ и вещество подложки – газ (если капля на подложке находится в воздухе). Толщина межфазного слоя в модели Гуттенгейма [10] $-\infty \leq \delta \leq \infty$, поэтому в работе величина δ принята одинаковой для рассматриваемых межфазных областей. Изменение свободной энергии при смачивании $\Delta G^\sigma = G_2 - G_1 = \delta S (G_{SL}^\sigma - G_{SG}^\sigma - G_{LG}^\sigma)$, на единицу объема «фазы» Гуттенгейма:

$$\Delta G_V^\sigma = (G_{SL}^\sigma - G_{SG}^\sigma - G_{LG}^\sigma) \quad (5)$$

Смачивание жидкостью возможно при $\Delta G_V^\sigma < 0$. Работа адгезии W_a [11] – противоположна смачиванию. Как следствие, в рамках подхода Гуттенгейма работа адгезии на единицу объема межфазного слоя: $W_a = (-G_{SL}^\sigma + G_{SG}^\sigma + G_{LG}^\sigma)$.

При равновесии энергия не должна изменяться при произвольных смещениях (dx) положения линии контакта трех фаз капли, лежащей на твердой поверхности [11,12]. При таком сдвиге: а) энергия «фазы» Гуттенгейма остается прежней – она перемещается как целое; б) объемы поверхностей (на единицу длины линии контакта) уменьшаются на δdx для межфазного слоя твердое – газ, увеличиваются на δdx для слоя твердое – жидкость, возрастают на $\delta dx \cos \theta$ для слоя жидкость – газ (θ – краевой угол смачивания). Изменение свободной энергии при равновесии в рамках подхода Гуттенгейма составит:

$$\delta dx G_{SL}^\sigma - \delta dx G_{SG}^\sigma + \delta dx G_{LG}^\sigma \cos \theta = 0 \quad (6)$$

и

$$\cos \theta = \frac{G_{SG}^\sigma - G_{SL}^\sigma}{G_{LG}^\sigma} \quad (7)$$

Уравнения (5) и (7) приводят к уравнению (подобному по форме уравнению Дюпре [11]) для изменения свободной энергии при смачивании:

$$\Delta G_V^\sigma = -G_{LG}^\sigma (1 + \cos \theta) \quad (8)$$

Уравнение (8) позволяет оценивать величину ΔG_V^σ при смачивании в виде $\Delta G_V^\sigma / G_{LG}^\sigma = -(1 + \cos \theta)$ при изменении природы поверхности волокон в ходе серии экспериментов с варьированием технологических параметров процесса (при смачивании водой волокнистого материала G_{LG}^σ – свободная энергия на единицу объема «фазы» Гуттенгейма для межфазной области вода-воздух). Величина $\Delta G_{rel} = \Delta G_V^\sigma / G_{LG}^\sigma$ далее будет рассматриваться как величина относительного изменения свободной энергии поверхности при смачивании. Для величины ΔG_{rel} имеются пределы $-2 \leq \Delta G_{rel} \leq 0$.

Из уравнения (4) для свободной энергии Гиббса следует, что при таком изменении площади поверхности уже существующей «фазы» Гуттенгейма, когда отсутствуют изменения внутренней энергии, энтропии и объема (содержание компонентов в «фазе» Гуттенгейма не изменяется качественно и количественно): $\Delta G_V^\sigma = -\sigma^\sigma \Delta A$ (при $\Delta A > 0$ и $\Delta U^\sigma - T \Delta S^\sigma + P \Delta V^\sigma = 0$). Уравнение (7) в этом идеализированном случае можно представить в виде:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{SG}^\sigma - \sigma_{SL}^\sigma}{\sigma_{LG}^\sigma} \quad (9)$$

Существует проблема связи величин, относящихся к модельным системам, с величинами, которые измеряются в реальном эксперименте. Если принять равенство величин межфазных поверхностных натяжений экспериментальных и «фазы» Гуттенгейма, то уравнение (9) превратится в привычное выражение для $\cos \theta$, которое выводится из условия механического равновесия [например, 3,4,11]:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{SG} - \sigma_{SL}}{\sigma_{LG}} \quad (10)$$

где σ_{LG} , σ_{SG} и σ_{SL} – поверхностные натяжения на границах раздела жидкость – воздух, подложка – воздух и подложка – смачивающая жидкость, соответственно.

В качестве характеристики способности к смачиванию водой используется величина капиллярности ткани или иного волокнистого материала [5]. Обоснованием связи величины капиллярности с характером поверхности волокон в материале является уравнение Жюрена [3,4], определяющее высоту поднятия жидкости в капилляре:

$$h = \frac{2\sigma_{LG} \cos \theta}{Rg\rho_l} \quad (11)$$

где θ – краевой угол смачивания (угол касательной к поверхности жидкости в точке контакта трех фаз: вещества капилляра, жидкости и воздуха), R – радиус капилляра, g – ускорение свободного падения, ρ_l – плотность жидкости. В этом уравнении только величина $\cos \theta$ связана с природой поверхности капилляра.

Комбинирование уравнений (10) и (11) дает (при $k = 2 / Rg\rho_l$):

$$h = \frac{2(\sigma_{SG} - \sigma_{SL})}{Rg\rho_l} = k(\sigma_{SG} - \sigma_{SL}) \approx k\sigma_{SG} \quad (12)$$

При $\sigma_{SG} \gg \sigma_{SL}$ уравнение (12) упрощается до $h \approx k\sigma_{SG}$. Так как величины $(\sigma_{SG} - \sigma_{SL})$ и σ_{SG} связаны с природой смачиваемой поверхности, то для идеального капилляра Жюрена изменение высоты поднятия жидкости свидетельствует об изменениях в природе поверхности: при увеличении гидрофильности поверхности величина h должна возрасти. Однако, высота поднятия жидкости полоской текстильного материала (величина капиллярности по [5]) зависит от многих факторов [например, 1-4, 12, 13].

Уравнения (8) и (10) выводятся при рассмотрении механического равновесия в точке контакта трех фаз: жидкости, твердого вещества и окружающей газовой фазы. Твердая поверхность может быть покрыта адсорбционным слоем паров жидкости. Свободная энергия такой покрытой адсорбционным слоем твердой поверхности меньше, чем свободная энергия свободного от адсорбата твердого вещества. Старов с соавторами [13] считает, что в таком случае нет реальной трехфазной линии контакта при равновесии, а уравнения (8) и (11), рассматривающие свободную от адсорбата поверхность подложки, неприменимы в реальных условиях. При толщине адсорбционного слоя в несколько молекул воды [14-17], свойства только первого слоя молекул воды, прилегающего к твердой поверхности существенно отличаются от свойств жидкой воды (это обстоятельство учитывается при выводе уравнения БЭТ [16], которое во многом согласуется с экспериментальными данными [18]). Как следствие, иная свободная энергия поверхности с адсорбированной жидкостью заставляет рассматривать трехфазный контакт (адсорбированная на поверхности жидкость в данном случае входит в состав «фазы» Гуттенгейма): поверхность твердого вещества с адсорбционным слоем – жидкость – газ. Взаимодействие трех этих фаз на линии контакта будет определять величину θ и соответствующие величины ΔG_{rel} и $(\sigma_{SG} - \sigma_{SL})$.

На величину экспериментально определяемого краевого угла смачивания влияет шероховатость поверхности, динамика процесса определения, наличие гистерезиса смачивания [1-4, 12, 13, 19]. Получаемые при варьировании условий опыта в серии экспериментов с одним типом волокна (например, шероховатость поверхности волокна и динамика процесса его смачивания – неизменны) величины θ , $(\sigma_{SG} - \sigma_{SL})$ и ΔG_{rel} свидетельствуют о характере изменений поверхности волокна и изменений в смачиваемости.

Уравнение Жюрена предполагает наличие идеального по форме капилляра со сферическим профилем мениска жидкости. Естественно, что реальный волокнистый материал содержит капилляры различной формы (продольного и поперечного сечения) и размеров при отсутствии сферического профиля мениска [3,4]. Таким образом, величина радиуса в уравнении Жюрена, применяемом для волокнистого материала, например, трикотажного полотна [3-5] – некая эффективная величина (R_e), отражающая влияние совокупности факторов на величину капиллярности по [5], которые не связаны с химической природой поверхности волокна. Высота поднятия жидкости волокнистым материалом зависит как от характера поверхности волокна (от межмолекулярного взаимодействия на поверхности волокна), так и от величины эффективного радиуса ($h = f(\cos \theta / R_e)$). Капиллярность по [5] не зависит только от природы поверхности волокна.

Величина $\cos \theta$ определяется характером межмолекулярного взаимодействия смачивающей жидкости с поверхностью, как следствие, величины $\cos \theta$ для элементарных волокон и пряжи из них, несмотря на различие структур, близки по величине (рис. 1). Это обстоятельство позволяет использовать величины $\cos \theta$ пряжи для оценки величины $(\sigma_{SG} - \sigma_{SL})$ и ΔG_{rel} .

Капиллярность полотна значительно превышает капиллярность пряжи (рис. 2). Поскольку характер поверхности волокна практически не изменяется при переходе от элементарного волокна к пряже (рис. 1), то можно предположить, что: 1) наличие линейной корреляции (рис. 2) обусловлено аналогичной химической природой поверхности элементарных волокон, волокон в пряже и в полотне; 2) резкое увеличение величины капиллярности полотна по сравнению с пряжей обусловлено кооперативным эффектом взаимодействия пряжи в структуре трикотажного полотна. Вклад кооперативного взаимодействия элементов структуры полотна может изменяться в результате усадки полотна в процессе отделочных операций. Таким образом, структура полотна вносит существенный вклад в величину капиллярности h , информативностью о характере изменения природы поверхности и капиллярных свойств волокна обладают только величины $\cos \theta$, $(\sigma_{SG} - \sigma_{SL})$ и ΔG_{rel} .

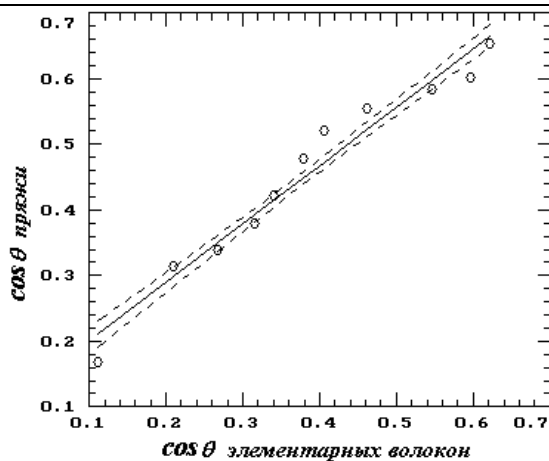


Рис. 1. Корреляция величин $\cos \theta$ пряжи и элементарных волокон. Точки соответствуют различным условиям проведения функционализации поверхности ПАН-волокна. Коэффициент корреляции 0.98

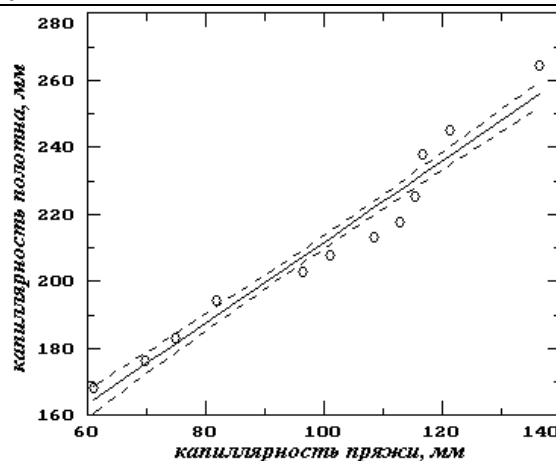


Рис. 2. Корреляция капиллярности полотна и пряжи. Точки соответствуют различным условиям проведения функционализации поверхности ПАН-волокна. Коэффициент корреляции 0.97.

Выводы

1. Рассмотрена термодинамика смачивания волокнистых материалов в рамках подхода Гуггенгейма к описанию поверхностных явлений.
2. Предложено уравнение $\Delta G_{rel} = \Delta G_V^\sigma / G_{LG}^\sigma = -(1 + \cos \theta)$ для оценки изменения свободной энергии поверхности волокна при смачивании, определена область изменения величины ΔG_{rel} .
3. Структура волокнистого материала вносит существенный вклад в величину капиллярности h , информативностью о характере изменения смачиваемости и природы поверхности волокон обладают величины $\cos \theta$, $(\sigma_{SG} - \sigma_{SL})$ и ΔG_{rel} .

Литература

1. Роулинсон Д. Молекулярная теория капиллярности / Д. Роулинсон, Б. Уидом. – М.: Мир, 1986. – 376 с.
2. Поциус А.В. Клеи, адгезия, технология склеивания / А.В. Поциус. – СПб.: Профессия, 2007. – 376 с.
3. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
4. Браславский В.А. Капиллярные процессы в текстильных материалах / В.А. Браславский. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 112с.
5. ГОСТ 3816– 81. Ткани текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств.
6. Гиббс Дж. В. Теория капиллярности. В кн.: Гиббс Дж. В. Термодинамические работы. – М. – Л.: Гостехтеоретиздат, 1950. – С. 288-421.
7. Оно С. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях / С. Оно, С. Кондо. – М.: ИЛ, 1963. – 291 с.
8. Guggenheim E. A. The thermodynamics of interfaces in systems of several components // Trans. Faraday Soc. – 1940. – Vol. 36. – P. 397– 412.
9. Адам Н. К. Физика и химия поверхности / Н. К. Адам. – М. – Л.: ОГИЗ. 1947. – 552 с.
10. Русанов А И. Фазовые равновесия и поверхностные явления / А И. Русанов. – Л.: Химия, 1967. 388 с.
11. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии / Д. А. Фридрихсберг. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.
12. де Жен П. Ж. Смачивание: статика и динамика // Успехи физических наук. – 1987. – Т. 151. – Вып. 4. – С. 619-681.
13. Starov V. M., Velarde M., Radke C. Wetting and spreading dynamics. – Taylor & Francis Group. – N.Y.: Taylor & Francis Group, 2007. – 506 p.
14. Думанский А.В. Учение о коллоидах / А.В. Думанский. – М. – Л.: ГХИ, 1948. – 416 с.
15. Morton W. E., Hearle J. W. S. Physical properties of textile fibres. – Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, 2008. – 746 p.
16. Брунауэр С. Адсорбция газов и паров. Т.1. Физическая адсорбция / С. Брунауэр. – М.: Издательский центр «Издательство «ИЛ», 1948. – 781 с.
17. Романкевич О.В. Уравнение абсорбции паров низкомолекулярных веществ их растворами / О.В. Романкевич // Доп. НАН України. – 2007. – № 1. – С.152-156.
18. Грег С. Адсорбция. Удельная поверхность. Пористость / С. Грег, К. Синг. – М.: Мир, 1984. – 306 с.
19. de Gennes P. – G., Brochard-Wyart F., Quere D. Capillarity and wetting phenomena: drops, bubbles, pearls, waves. – New York: Springer-Verlag New York, Inc., 2004. – 287 p.

Надійшла 20.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Супрун Н.П.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ КОМПЛЕКТІВ

В статті проведено порівняльний аналіз властивостей та обґрунтовано вибір матеріалів текстильних комплектів для дидактичних занять, що розвивають сенсорну чутливість.

Ключові слова: екологічний текстиль, комфортність, гігієнічні властивості матеріалів.

YU.O.VASHCHENKO., N.P.SUPRUN., M.A.MARHAY

Kyiv national university of technologies and design

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF PROPERTIES OF TEXTILE OF SETS

In the article was done conductive analysis of properties and was substantiated the choice of materials for textile sets which are intended for didactic games and also develop sensory sensitivity/

Keywords: ecological textiles, comfort, hygienic properties of materials.

Вступ

Сучасний споживач при виборі товарів широкого вжитку в значній мірі віддає переваги виробам, які, крім виконання своєї основної функції, забезпечують комфортність у користуванні. При всій суб'єктивності відчуття комфортності, можна чітко виділити три його складові: нейро-, термо- та психофізіологічний комфорт. Вагомість кожної з цих складових визначається вимогами, які споживач висуває до виробу.

Перевести нейро-, термо- та психофізіологічні відчуття людини при контакті її тіла з поверхнею текстильних матеріалів доволі складно, однак в останній час саме ця задача вважається пріоритетною при розробці комфортних та функціональних виробів. Так, наприклад, провідні фірми з виготовлення текстильних виробів різного асортименту при проектуванні почали використовувати концепцію *Bodymapping* – складання умовної карти тіла людини [1, 2]. В рамках цієї концепції з урахуванням статі і типу тілобудови людини за допомогою сучасних приладів виявляються зони з різною інтенсивністю тепловиділення, визначається сила тиску різних ділянок тіла при контакті з різними предметами в процесі виконання фізичних вправ і складається їх схема (рис. 1). Для цього з використанням спеціальних тепловимірювачів оцінюється зміна температури тіла, інтенсивність тепло- і потовиділення під час виконання визначеного навантаження на різних ділянках тіла людини (рис. 1) Сенсорна система *Tactilus*, що розроблена спеціально для таких вимірів, дозволяє скласти фізичний інтерфейс людини шляхом отримання точних параметрів фізіологічного стану за допомогою датчиків, які розташовуються на тілі людини. Масив даних, що отримані таким чином, називають «електронною шкірою», вони є базовими для нового напрямку в проектуванні одягу – так званому, «фізіологічному дизайні».

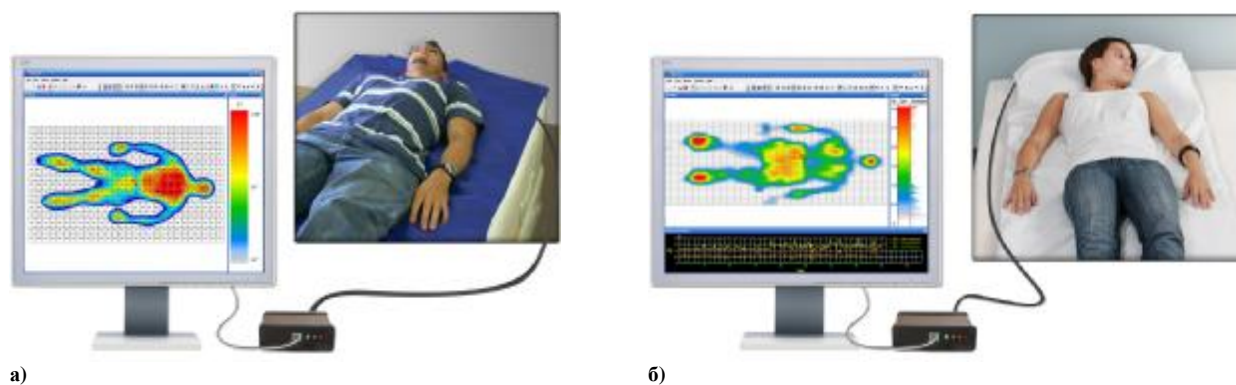


Рис. 1. Експерименти по визначенню розподілу температури тіла (а) та величини тиску його різних частин у положенні лежачі (б)

Такий підхід до конструювання виробів визначеного призначення, на нашу думку, може бути успішно використаний у текстильних виробках для дітей з порушеннями опорно-рухового апарату. Це дозволить підвищити комфортність, зручність у користуванні таких виробів і надасть можливість краще забезпечувати функціональні вимоги споживачів цієї групи.

Одним з найважливіших питань адаптації дітей з хворобами опорно-рухового апарату до побутової діяльності є система заходів з відновлення або компенсації фізичних і інтелектуальних здібностей, поліпшення фізичних якостей організму. Ці заходи допомагають оздоровленню організму, сприяють формуванню координації рухів, позитивно впливають на психіку, мобілізують волю, надають дітям відчуття

соціальної повноцінності. Цілісне сприйняття дитиною різних явищ і предметів навколишнього світу формується в умовах повсякденного життя, у процесі ігор, праці, спілкуванні. Лікарі відзначають, що важливу роль в адаптаційних процесах відіграють не тільки регулярні заняття з лікувальної фізкультури, але й дидактичні ігри, в тому числі і ті, що направлені на розвиток сенсорної чутливості. Сенсорне навчання, значною складовою якого вважаються розвиваючі ігри, широко використовується для корекційного навчання дітей з хворобами опорно-рухового апарату з метою надання навичок орієнтування в навколишньому предметному світі.

Відомо, що органолептичні відчуття при контакті шкіри тіла з текстильними матеріалами, є першими, навіть, неусвідомленими, емоціями, які визначають для людини подальшу придатність чи непридатність даного виробу для використання.

Сенсорне виховання полягає, насамперед, у навчанні дітей предметним діям, що вимагають співвіднесення предметів за їх зовнішніми ознаками: величиною, формою, положенню в просторі. Оволодіння знаннями про зовнішні властивості предметів досягається шляхом співвіднесення їх між собою. Сенсорне виховання включає розвиток зорового, слухового, тактильного і кінестетичного сприйняття (сприйняття рухів). Воно має велике значення для становлення пізнавальної діяльності дитини та для формування в неї вищих психічних функцій [3].

На нашу думку, одним з шляхів допомоги вирішення питань розвитку сенсорної чутливості та просторових уявлень у дитини може бути використання величезних можливостей, які закладені у різноманітні кольорів та відтінків, видів фактур, структур, туше та інших характерних особливостей текстильних матеріалів. З використанням атравматичних плоских та об'ємних іграшок, виготовлених з різних екологічних матеріалів та наповнювачів, можна проводити вправи на впізнання, які тренують зорову увагу, вправи для розвитку і закріплення понять «великий» і «маленький», «м'який», «круглий» предмет та ін. Для розвитку тактильної чутливості важливим фактором, на нашу думку, може стати також вид наповнювача таких виробів.

Метою даної роботи є розробка та конфекціонування матеріалів до текстильного комплекту, призначеного для проведення дидактичних ігор, які розвивають фізичну активність, сенсорну чутливість дітей з хворобами опорно-рухового апарату.

Основна частина

Основною задачею вибору матеріалів на запропонований виріб є забезпечення комфортності та здатності створювати лікувально-профілактичну дію під час занять, чого можна досягти оптимальним сполученням необхідних властивостей матеріалів. Комплект складається з системи килимків, які можуть з'єднуватися між собою за допомогою текстильних застібок. Кожен з килимків має створювати під час занять певні зони, які ми умовно поділили на наступні: I – для вправ під час лікувальної фізкультури; II – для масажу під час реабілітаційних занять; III – для ігрових занять; IV – для релаксації або відпочинку. Такий комплект дозволяє проводити з дітьми різноманітні вправи, створюючи при тому додатковий терапевтичний (за рахунок властивостей матеріалів) та психологічний (за рахунок відповідного вибору кольорів та друкованого рисунку) позитивні ефекти (рис. 2).

Поверхня кожного килимка відрізняється за рельєфом фактурою і туше, що потребує використання відповідних текстильних матеріалів, різних видів наповнювачів, а також продуманого розташування спеціальних масажних елементів. Крім того, для розвитку моторики пальців рук, на поверхні «ігрового» килимка передбачено місця для спеціальних текстильних іграшок.

Основними вимогами до наповнювачів для всіх видів килимків є їх здатність зберігати задану товщину під дією ваги тіла дитини та відновлювати форму після закінчення занять. Важливими також є гігієнічні властивості полотен їх здатність сорбувати вологу (піт) у вигляді пари та рідини, швидко висихати, не піддаватися гниттю, не сорбувати запахи. Тому в якості наповнювачів для килимків було обрано декілька видів нетканих полотен, до складу яких входять лляні або конопляні волокна, виготовлені ВО «ВЕЛІАМ» (рис. 3)



Рис. 2. Система килимків, з'єднаних текстильною застіркою



Рис. 3. Види наповнювачів для килимків: а) конопля, б) льон (поперечні перерізи)

Враховуючи фізіологічні особливості дітей з хворобами опорно-рухового апарату, які були

детально проаналізовані нами в монографії [4], однією з основних необхідних властивостей матеріалу верху килимка І-ї зони є його здатність швидко вбирати та розподіляти в структурі матеріалу рідку вологу, яка у вигляді поту виділяється з поверхні тіла, під час занять. Крім того, тепловиділення у дітей з хворобами опорно-рухового апарату також підвищені, тому матеріали верху килимка бажано обирати серед тих, які мають високі коефіцієнти теплопровідності, щоб не допускати теплового дискомфорту під час занять. Саме тому для порівняльного аналізу властивостей матеріалу верху килимка були обрані лляні тканини, які як відомо, мають високі гігієнічні властивості, забезпечують комфорт і збереження здоров'я людини, характеризуються високою міцністю, стійкістю до багаторазового прання, терапевтичними ефектами, сорбційною здатністю, повітря- і паропроникністю.

Для порівняльного аналізу гігієнічних властивостей було вибрано 3 види лляних тканин, які відрізняються між собою поверхневою густиною (таблиця 1).

Таблиця 1

Гігієнічні властивості досліджуваних тканин

№	Назва тканини	Сировинний вміст	Поверхнева густина Ms, г/м ²	Гігроскопічність, %	Капілярність по основі/по утку (см)	Площа розтікання краплі, мм ²	Швидкість розтікання краплі, мм/с
1	Тканина лляна Арт 5С108	Льон – 100%	175	7,2	13,2/11,8	9,1	0,3
2	Тканина лляна Арт 07С179	Льон – 100%	212	9,5	12,0 / 9,5	8,8	0,2
3	Тканина лляна Арт 4С33	Льон – 100%	151	9,0	12,5/10,6	10,5	0,3

Порівняльний аналіз експериментально визначеної гігроскопічності тканин (таблиця 1) засвідчив їх високу здатність (в межах 6,3 – 9,5%) сорбувати пароподібну вологу. Гігієнічні властивості характеризує також показник капілярності, який відображає здатність матеріалів поглинати вологу повздовжніми капілярами. Найвищі значення цього показника, отриманого за стандартизованою методикою, має зразок тканини №1, хоча значення гігроскопічності в нього найменші.

Слід відзначити, що особливості комплексу, що розробляється полягає в тому, що контакт тіла із їх поверхнею в основному відбувається при горизонтальному положенні. Тому, ми вважали за доцільно одночасно із стандартизованою методикою визначення капілярності використовувати для оцінки розроблений нами альтернативний «метод краплі» [4]. Цей метод полягає в нанесенні на тканину краплю підфарбованого «розчин поту» та заміру площі утвореної мокрої плями та швидкості розтікання (рис. 4).



Рис. 4. Зміна у часі площі розтікання краплі на тканині (зразок №2) через а) 5, б) 10, в) 30, г) 180 с



Рис. 5. Масажний елемент

За комплексом проведених досліджень гігієнічних властивостей, найкращим можна вважати зразок №3, та рекомендувати його для верху спортивного килимка, для занять з лікувальної фізкультури.

Матеріал верху II-го килимка, який забезпечує терапевтичну дію, складається з джутової тканини, на яку нашиті масажні елементи, що представляють собою поліетиленові кульки в трикотажних трубках

(рис. 5). Місця розташування таких масажних елементів визначалися нами згідно з відповідними рекомендаціями медичної літератури.

В III-й ігровій зоні на поверхню килимка, яку можна виконати з лляної тканини, настрочується одна частина текстильної застіжки, друга частина – на спеціально розроблених текстильних іграшках. Варіюються як маса іграшок, так і площа текстильної застіжки на ній. Використання такого ігрового комплексу розвиває у дитини моторику рухів та тренує м'язи рук (рис. 6).

Маса іграшок, які принципово розрізняються між собою за фактурою і туше, а також площа текстильної застіжки обирались на основі експериментальних даних по величині сили відриву (таблиця 2).

Таблиця 2

Показники сили відриву іграшки від килимка

№ п/п	Розмір текстильної застіжки (см)	Маса іграшки (г)	Сила відриву для дитини від 2-х до 3-х років (Н)	Сила відриву для дитини від 3-х до 4-х років (Н)
1	5,0×4,5	24	*	27
2	5,0×4,5	30	*	24
3	5,0×4,5	22	*	25
4	5,0×4,5	15	18	16
5	5,0×4,0	10	14	12
6	4,0×4,0	10	12	11

* зусилля дитини не вистачає для відриву іграшки.

Ці значення були основою для науково обґрунтованого підходу проектування даного комплексу. Апробацію розробленого текстильного комплексу проводили під час занять у спеціалізованому дошкільному закладі і отримали позитивні відгуки.



Рис. 6. Проведення дидактичних занять з використанням розробленого комплексу

Висновки

Запропоновано оригінальний текстильний комплект, використання якого сприяє комфортному проведенню занять з лікувальної фізкультури та дидактичних ігор для дітей з хворобами опорно-рухового апарату. Вибір матеріалів для виготовлення текстильного комплексу проводився з урахуванням вимог, що висуваються та особливостей експлуатації.

Література

1. Васильева Н.О. Экология и высокие технологии в формировании микроклимата одежды / Н.О. Васильева, Е.А. Нечушкина // Швейная пром-сть. – 2008. – № 3. – С. 35–37.
2. Технологии в текстиле ADIDAS [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.nv.vspb.ru
3. Супрун Н.П. Текстиль та багатофункціональні текстильні композиційні матеріали у виробках для інвалідів та важко хворих / Н.П. Супрун, В.І. Власенко, С.І. Арабулі. – КНУТД, 2011. – 196 с.
4. Сенсорное воспитание в детском садике / [под ред. Н.П. Сисулиной, Н.Н. Поддьякова]. – М., 1969. – С. 3.

Надійшла 25.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Березненко М.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАН ПОСЛЕ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ

Исследована природа превращений нитрильных групп в процессе проведения реакции Радзишевского. Показано влияния условий функционализации на изменения поверхности и структуры в целом волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила.

Ключевые слова: реакция Радзишевского, функционализация, амидные группы

A ratio of conversion of nitrile groups after carrying out Radziszewski reaction was investigate. Influence of conditions of functionalization on change surface and structure as a whole of fibrous material was researched.

Keywords: reaction Radziszewsky, functionalization, amide groups

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.

Одним из путей изменения свойств полимеров является их функционализация [1-5]. Процесс функционализации может быть использован для изменения химической природы поверхности волокнистых материалов. В частности, одним из существенных недостатков волокон на основе сополимеров акрилонитрила является их высокая электризуемость. Проведение функционализации поверхности ПАН-волокон в сторону увеличения ее гидрофильности – путь уменьшения их электризуемости.

Высокая полярность нитрильной группы и ее легкая поляризуемость под действием различных реагентов определяют возможность вступления в многочисленные реакции, в частности, в реакцию Радзишевского [6-7] с превращением нитрильных групп в амидные. Применительно к волокнам на основе акрилонитрила реакция Радзишевского должна осуществляться только в поверхностном слое волокна для обеспечения его гидрофилизации при сохранении объемных свойств волокна неизменными. По сути процесс по своим целям аналогичен С – отделке ацетатного волокна [8-10].

На ход превращений нитрильных групп в процессе функционализации оказывают существенное влияние условия проведения процесса. Так, например, в процессе щелочного гидролиза полиакрилонитрила характерно образования карбоксильных групп [11-13]. Однако, данные о природе превращений ПАН – волокон при проведении реакции Радзишевского отсутствуют.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью работы является изучение влияния условий функционализации ПАН – волокон на химические превращения на поверхности волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила с использованием метода инфракрасной спектроскопии (ИК).

Объекты и методы исследования

Объектом функционализации служил нитрон Д, полученный по диметилформаидному способу на заводе “Полимир” г. Новополоцк, Республика Беларусь. Состав волокнообразующего сополимера: акрилонитрил – 91 %, метилакрилат – 8 %, АМПС (2 – акриламид – 2 метил – пропансульфоуксислота) – 1 %. В эксперименте использовалась пряжа на основе нитрона Д с линейной плотностью – 15 текс.

В работе использовали перекись водорода (от 50 г/л до 180 г/л 35 % раствора перекиси водорода) при модуле ванны 1: 20 «на кипу». Реакцию проводили в присутствии буферных систем: аммиачной (для создания pH=10,5) и тетраборатной (для создания pH=8,0).

Структурные особенности исходных и модифицированных образцов волокон на основе ПАН изучали методом инфракрасной спектроскопии на спектрофотометре Tensor-37 с Фурье преобразованием (ф. Bruker, FRG) в спектральной области 600-4000 см⁻¹. Были подготовлены образцы двух типов: образцы в виде плотно спрессованной пряжи, при исследовании которых получали ИК спектры поверхности волокна (метод нарушенного полного поверхностного внутреннего отражения – НПВО) и образцы в виде таблеток с КВг, позволяющие получать ИК спектры волокна в целом. Обработка спектров проводилась с применением компьютерной программы SpecManager ACD Labs – нормировка спектральных кривых, измерение интенсивности и положения полос поглощения для исследуемых образцов.

Результаты и их обсуждение

Интерпретация ИК-спектров волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила затруднена [11-14]. Это, прежде всего, объясняется различиями в составе (тип и количество используемых сомономеров), в способе формирования волокна.

При реакции Радзишевского в результате взаимодействия нитрильных групп с перекисью водорода в щелочной среде происходят химические превращения с образованием амидных групп. Схема реакции приведена ниже [6]:



На рис. 1 представлены ИК-спектры (таблетки с КВг) образцов волокнистого материала на основе ПАН при проведении реакции Радзишевского при различных величинах pH среды.

При изучении методом ИКС влияния условий функционализации ПАН – волокон на результат

реакции (1) необходимо учитывать, что на спектрах в областях $3550-3340\text{ см}^{-1}$, $1720-1615\text{ см}^{-1}$ и $1550-1520\text{ см}^{-1}$ после проведения реакции (1) должны появляться полосы, относящиеся к появлению первичных и вторичных амидов, и уменьшаться интенсивность полосы поглощения нитрильной группы (2244 см^{-1}).

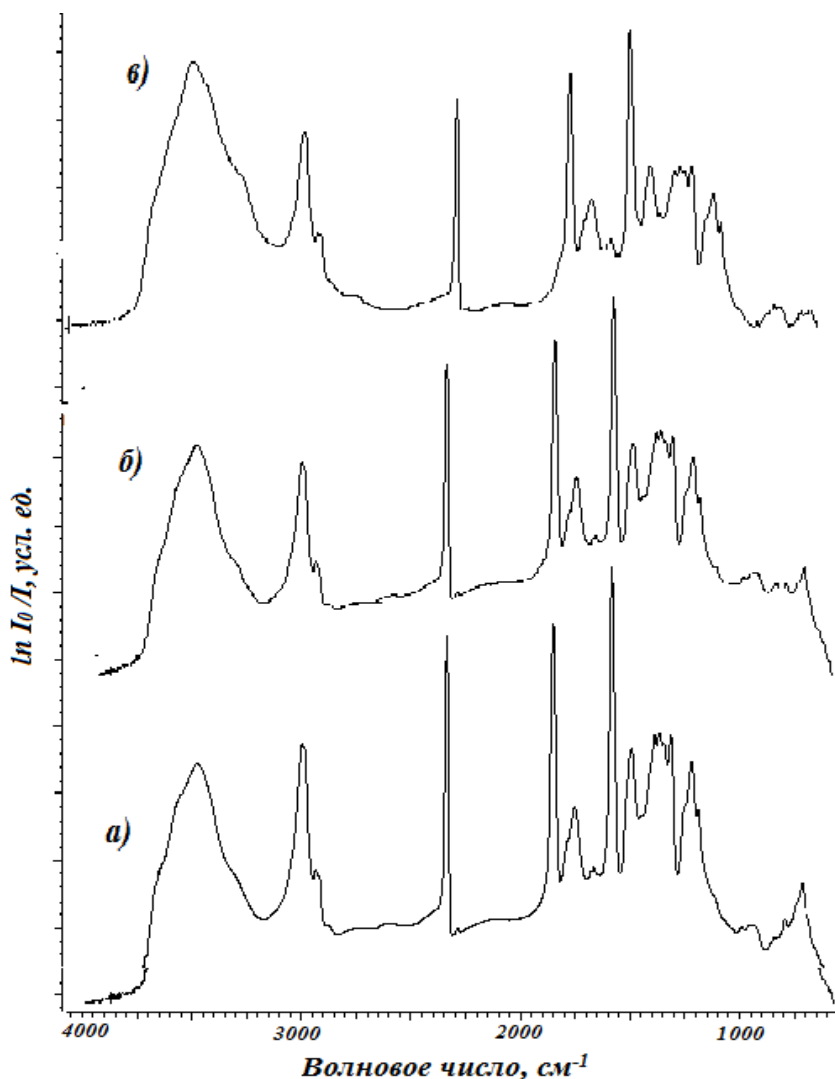


Рис. 1 ИК-спектры волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила: а) – исходный образец; б) – образец после обработки раствором перекиси водорода с концентрацией 50 г/л при pH=8,0; в) – образец после обработки раствором перекиси водорода с концентрацией 50 г/л при pH=10,5

На спектральной кривой исходного образца волокнистого материала на основе полиакрилонитрила (рис. 1 (а)) наблюдается характерная полоса валентных колебаний CN-группы с max 2244 см^{-1} . В области $3600-3350\text{ см}^{-1}$ отчетливо выражена полоса деформационных колебаний с максимумом при 3436 см^{-1} , отвечающая за присутствие амидных групп. Наличие уже в исходном образце амидных групп объясняется содержанием сополимера (АМПС) в составе волокна. Амидная группа характеризуется, прежде всего, двумя полосами поглощения – валентных колебаний связи C=O (полоса «амид I» и деформационными колебаниями связи N-H (полоса «амид II»)) [14].

Для образцов волокон на основе ПАН характерно наличие интенсивных полос спектра, которые соответствуют валентным колебаниям нитрильной ($-C\equiv N$) группы в области $2240-2260\text{ см}^{-1}$ [14]. При концентрациях перекиси водорода 50 г/л, 100 г/л, 120 г/л при pH=8,0 и 50 г/л, 100 г/л при pH 10,5 интенсивность пика, соответствующего нитрильным группам практически не изменяется. Однако, при повышении концентрации перекиси водорода выше 100-120 г/л характер спектра изменяется (рис. 2).

Анализ спектральных кривых на рис. 2 показывает, что в ходе проведения реакции функционализации поверхности при достаточно высоком содержании перекиси водорода проходят изменения и непосредственно в объеме волокна, о чем свидетельствует проявления новых пиков в области $3600-3300\text{ см}^{-1}$ и $1750-1500\text{ см}^{-1}$. Практический интерес составляет процесс функционализации только поверхности, так как в ходе проведения полимераналогичных превращений в объеме волокон теряются его ценные качества. В связи с этим дальнейшие исследования проводили, соответственно, для образцов, у которых проведение реакции (1) не затрагивало основное количество сополимера акрилонитрила, а именно 50 г/л, 100 г/л, 120 г/л 35 % перекиси водорода для pH=8,0 и 50 г/л, 100 г/л для pH 10,5.

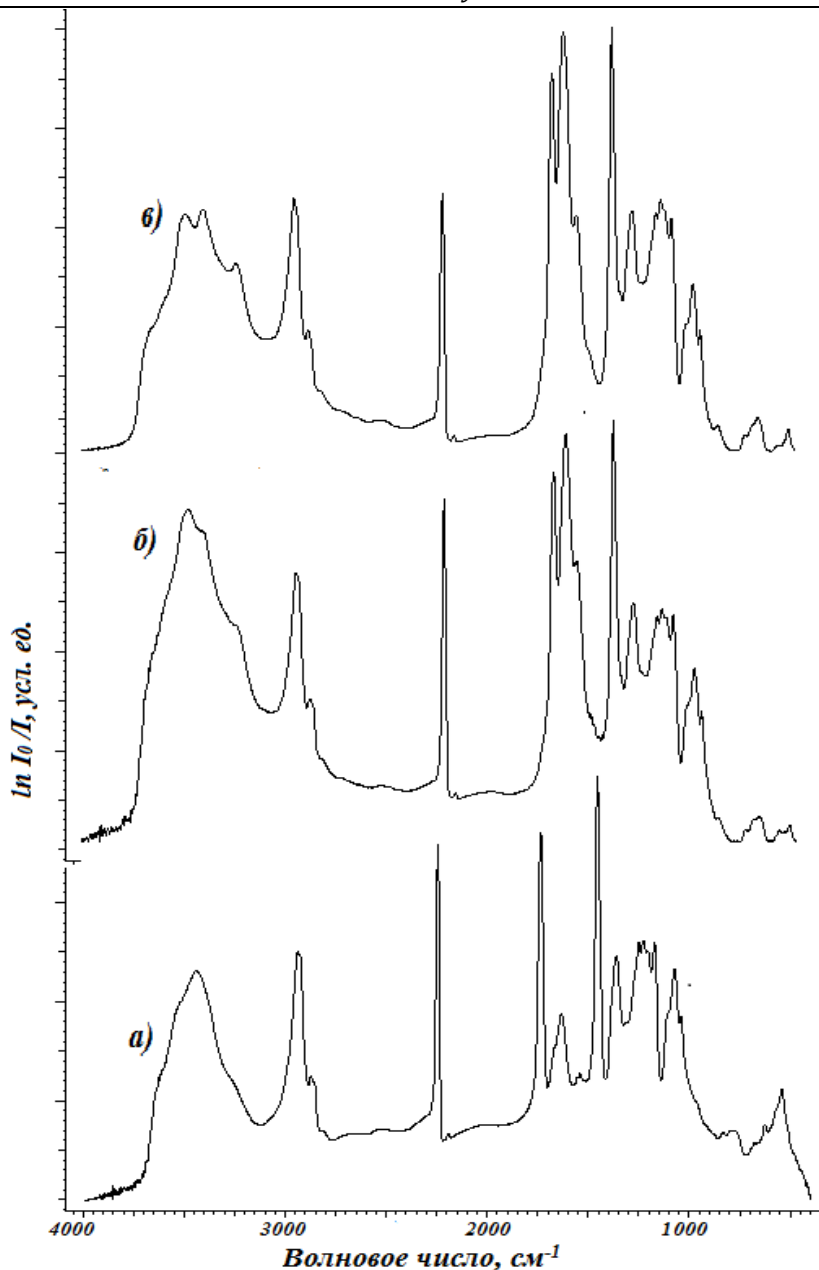


Рис. 2 ИК-спектры (таблетки с KBr) волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила: а) – исходный образец; б) – образец после обработки раствором перекиси водорода с концентрацией 140 г/л при рН=8,0; в) – образец после обработки раствором перекиси водорода с концентрацией 120 г/л при рН=10,5

На рис. 3 представлены ИК-спектры поверхности образцов волокнистого материала на основе ПАН после проведения функционализации при различных рН среды. Для поверхности волокна прописывается характерная интенсивная полоса валентных колебаний нитрильной ($C\equiv N$) группы с \max 2240 cm^{-1} , интенсивность которой после проведения реакции (1) уменьшается.

Анализ спектров поверхности волокна после проведения функционализации показывает, что в областях 3650-3300 cm^{-1} , 1785-1570 cm^{-1} и 1560-1513 cm^{-1} наблюдается ступенчатое поглощение, отвечающие за проявление амидов в продуктах реакции полиакрилонитрила. Так, для образца после обработки перекисью водорода с концентрацией 50 г/л при рН=8,0 (рис. 3 (б)) дублет при 1664 cm^{-1} и 1627 cm^{-1} перекрывается полосой 1627 cm^{-1} , которая свидетельствует о присутствии карбонильной составляющей в структуре амидной группы.

Подобная картина наблюдается для образца после обработки перекисью водорода при рН=10,5 (рис. 3 (в)). Следует подчеркнуть, что, как и в случае образца после обработки перекисью водорода с концентрацией 50 г/л при рН=8, при рН=10,5 также наблюдается ступенчатое поглощение в области 3600-3300 cm^{-1} с \max 3616 cm^{-1} и 3533 cm^{-1} , а также смещение третьего \max до 3400 cm^{-1} , что подтверждает прохождение реакции с образованием амидных групп. В области 1700-1620 cm^{-1} проявляется дублет при 1670 cm^{-1} и 1627 cm^{-1} , отвечающий за полосы поглощения карбонильной группы в структуре амид I и амид II.

Таким образом, в ходе проведения функционализации поверхности волокнистого материала по реакции Радзишевского на поверхности действительно образуются амидные группы, интенсивность полос поглощения которых заметно растет с повышением количества перекиси водорода.

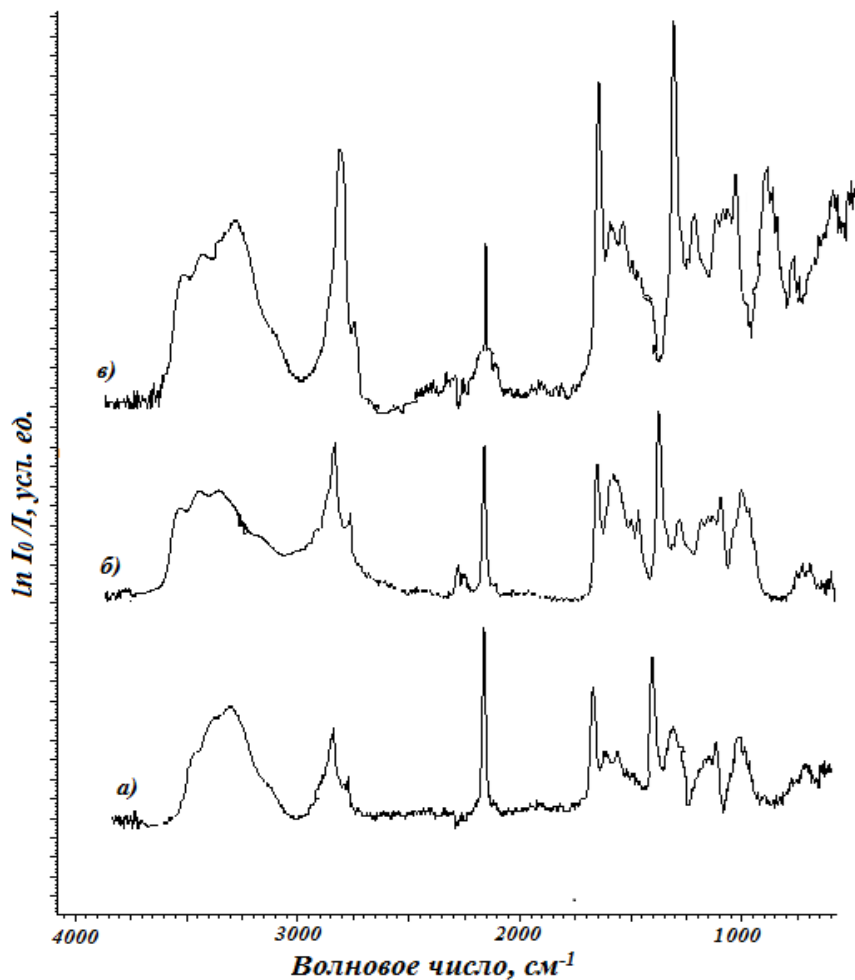


Рис. 3 ИК-спектры поверхности волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила: а) – исходный образец; б) – образец после обработки раствором перекиси водорода с концентрацией 50 г/л при рН=8,0; в) – образец после обработки раствором перекиси водорода с концентрацией 50 г/л при рН=10.5

Для количественной характеристики превращения нитрильных групп при реакции функционализации на поверхности волокон может использоваться соотношение оптических плотностей соответствующих полос поглощения.

Согласно [16], зависимость интенсивности поглощения от концентрации и толщины поглощающего слоя выражается законом Бугера – Ламберта – Бера, который связывает интенсивность поглощения монохроматического излучения веществом, находящимся в непоглощающей среде как с концентрацией, так и с толщиной поглощающего слоя и выражается следующим образом:

$$I = I_0 \cdot 10^{-kcd}, \quad kcd = \lg(I_0 / I) \quad (2)$$

где I и I_0 – интенсивности пропущенного и падающего на образец излучения; k – коэффициент погашения (коэффициент экстинкции, т.е. поглощающая способность вещества), c – концентрация вещества (г/л), d – толщина слоя образца (см).

Образование амидных групп при проведении реакции Радзишевского идет за счет превращения нитрильных групп. При этом оптическая плотность метиленовых групп, которые проявляются полосой поглощения при 2938 см^{-1} – не изменяется. Исходя из этого, изменения интенсивностей полос поглощения нитрильной группы в результате реакции (1) целесообразно соотносить с интенсивностью метиленовых групп.

В таблице 1 представлены величины оптических плотностей нитрильной и метиленовых групп, полученных при исследовании ИК-спектров функционализированной поверхности волокнистого материала на основе полиакрилонитрила.

Таким образом, в процессе проведения функционализации поверхности ПАН-волокна, при неизменном содержании метиленовых групп, которые не принимают участия в реакции (1), наблюдается существенное уменьшение количества нитрильных групп по отношению к метиленовым, что доказывает непосредственное участие нитрильных групп в ходе реакции Радзишевского с образованием амидных групп на поверхности исследуемых материалов при принятых нами условиях эксперимента.

Таблица 1

Оптические плотности нитрильной и метиленовых групп на поверхности ПАН-волокна

№ обр.	Концентрация перекиси водорода, г/л	Оптическая плотность в усл. ед. $-C\equiv N$ – групп ($I_{-C\equiv N}$)	Оптическая плотность в усл. ед. $(-CH_2-)$ – групп (I_{-CH_2-})	Соотношение оптических плотностей $I(-C\equiv N)/I(-CH_2-)$
pH=8,0				
1	0	1,659	1,026	1,617
2	50	0,402	0,359	1,119
3	100	0,315	0,432	0,729
4	120	0,288	0,806	0,357
pH=10,5				
1	0	1,659	1,026	1,617
2	50	0,637	1,105	0,576
3	100	0,108	0,321	0,336

Выводы

- Исследована природа превращений нитрильных групп в процессе проведения реакции Радзишевского с целью функционализации волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила.

- Установлено, что данная реакция при определенных условиях происходит непосредственно на поверхности волокна с образованием амидных групп, что делает возможным проведение функционализации волокна непосредственно для интенсификации крашения катионными красителями в процессе отделочного производства без нарушения ценных свойств волокнистого материала.

Анализ при проведении дальнейших экспериментов изменений свойств поверхности, например, капиллярных, электрических свойств волокон и свойств волокна в целом, например, теплофизических, физико-механических позволит провести оптимизацию необходимого количества перекиси водорода при проведении реакции Радзишевского при функционализации волокон на основе сополимеров акрилонитрила.

Литература

1. Дженкинс А. Реакционная способность, механизмы реакций и структура в химии полимеров. / А. Дженкинс, А. Ледвис.; пер. с англ. – М.: Мир. – 1977. – С. 501-524
2. Перепелкин К.Е. Принципы и методы модифицирования волокон и волокнистых материалов // Химические волокна. – 2005. – № 2. – С. 37-51.
3. Пакшвер Э. А. Полиакрилонитрильные волокна // Карбоцепные синтетические волокна. – М.: – Химия, 1973. – С.7 – 163.
4. Методы получения текстильных материалов со специальными свойствами / [Козинда З.Ю., Горбачева И.И., Суворова Е.Е., и др]. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 112 с.
5. Кулезнев В.Н. Химическая и физическая модификация полимеров / В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнев; под редакцией В.Н. Кулезнева. – М.: Химия, 1990. – 207 с.
6. Зильберман Е.Н. Реакции нитрилов. – М.: Химия, 1972. – 448с.
7. Зильберман Е.Н. Реакции нитрилсодержащих полимеров // Успехи химии. – 1986. – Т. 60. – № 1. – С. 62-78.
8. Теддер Дж. Промышленная органическая химия / Теддер Дж., Нехватал А., Джубб А.; пер. с англ. Г.Я. Легина; под ред. О.В.Корсунского. – М.: Мир, 1977. – 704 с.
9. Отделка изделий из ацетатных волокон / [Андросов В.Ф., Аким Э.Л. и др.]. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 176 с.
10. Отделка изделий из химических волокон / [Сарибеков Г.С., Осик Ю.И., Андросов В.Ф., Глущенко А.И.]. – К.: Техника, 1982. – 199 с.
11. Романова Е.П., Румынская И.Г. Формирования пространственной сети в процессе ионного гидролиза полиакрилонитрильного волокна // Химические волокна. – 1999. – № 2. – С 47-50.
12. Румынская И.Г., Романова Е.П., Папцова И.И. Природа анионообменных структур в карбоксилсодержащих ионитах на основе полиакрилонитрила // Журнал прикладной химии. – 1995. – Т68. – № 4. – С. 630-635.
13. Романова Е.П., Румынская И.Г. и др // Высокомолекулярные соединения. – 1989. – Т31. – № 8. – С. 615-617.
14. Беллами Л. Дж. Инфракрасные спектры сложных молекул; под ред. Ю. А. Пентина. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1963. – 592 с.
15. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений: практическое руководство; под ред. А.А. Мальцева; пер. с англ. Н.Б. Куплетской и Л.М. Эпштейн. – М.: Мир, 1965. – 220 с.
16. Сильверстейн Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т.; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1977. – 592 с.
17. Кросс А. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию: Пер. с англ. Ю. А. Пентина. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1961. – 114 с.

Надійшла 17.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Супрун Н.П.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ ВОДРОЗОЧИННИХ ЗАБРУДНЕНЬ З ПОФАРБОВАНИХ ПОЛІАМІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті розглянуто результати досліджень, пов'язаних з видаленням водорозчинних танінових забруднень з пофарбованих різними класами барвників текстильних матеріалів на основі поліамідних волокон. Визначені фактори, що впливають на процес видалення забруднень. Розроблені рекомендації щодо плямовиведення.

Ключові слова: танінові плями, поліамідні матеріали, плямовиведення.

The article deals with the result of investigation related to the removing of tannin water-soluble contaminations from polyamide fiber textile materials dyed with different classes of dyes. Factors that influence on the process of contaminations removal are described. Recommendations as to stain removing have been put forward.

Keywords: tannin stains polyamide materials, stain removal.

Постановка проблеми. Попередніми нашими дослідженнями [1, 2] встановлено, що одним із факторів, який впливає на видалення танінових забруднень з пофарбованих текстильних матеріалів, є клас барвника, його хімічна будова. Це припущення було зроблено на основі дослідження текстильних матеріалів природного походження (бавовна, вовна). Слід зазначити, що цей фактор в більшій мірі впливає на якість процесу плямовиведення по відношенню до бавовняних матеріалів, ніж до вовняних.

Метою даного дослідження є вивчення впливу класу барвника на якість видалення танінових забруднень з пофарбованих поліамідних матеріалів.

Об'єктом дослідження в роботі виступає процес видалення танінових забруднень з текстильних матеріалів хімічного походження.

Предмет дослідження – пофарбована тканина на основі поліамідних волокон, на яку нанесені танінові забруднення.

Результати та їх обговорення.

Для проведення досліджень використовували капронову тканину, пофарбовану різними барвниками: прямим червоним, кислотним бордо, активним яскраво-блакитним і дисперсним блакитним.

В якості танінових забруднень використовували чай, каву, соки (гранат, виноград).

Видалення плям проводили ручним способом обраними поверхнево-активними речовинами (ПАР) та плямовивідними препаратами [3].

Якість видалення плям з пофарбованої тканини оцінювали за методикою визначення миючої здатності [1] на основі коефіцієнтів відбиття, отриманих за допомогою фотометра універсального (ФΟΥ).

Миюча здатність плямовивідних препаратів та ПАР при видаленні плям чаю та кави приведена в таблицях 1, 2.

Приведені результати досліджень свідчать про те, що клас барвника впливає на миючу здатність плямовивідних засобів. Як видно з таблиць миюча здатність плямовивідних засобів на поліамідних матеріалах, пофарбованих прямими барвниками найнижча. Дещо вищий цей показник у випадку кислотних барвників (у середньому на 3-5 %). Більш ефективно танінові забруднення видаляються з поліамідних матеріалів, пофарбованих активними та дисперсними барвниками.

Таблиця 1

Миюча здатність плямовивідних препаратів та ПАР при видаленні плям чаю

Вид ПАР і плямовивідного препарату		Миюча здатність, %			
		Прямий барвник	Кислотний барвник	Активний барвник	Дисперсний барвник
Поверхнево-активні речовини	Сульфано	58	60	67	67
	Сульфасид	60	70	80	78
	ОС-10	67	70	80	78
	ОС-20	73	74	80	77
	Неонол	88	91	95	92
Плямовивідні препарати	МТІ	86	88	92	89
	Кавесол	86	89	93	90
	Лакол	77	78	80	82
	V2	78	80	84	83
	Танекс	83	88	92	89

Миюча здатність плямовивідних препаратів та ПАР при видаленні плям кави

Вид ПАР і плямовивідного препарату		Миюча здатність, %			
		Прямий барвник	Кислотний барвник	Активний барвник	Дисперсний барвник
Поверхнево-активні речовини	Сульфанол	64	66	67	74
	Сульфасид	73	78	80	81
	ОС-10	72	74	91	79
	ОС-20	72	74	87	87
	Неонол	86	87	89	89
Плямовивідні препарати	МТІ	85	89	91	93
	Кавесол	88	89	91	92
	Лакол	78	80	86	83
	V2	78	78	86	85
	Танекс	84	87	89	91

Це можна пояснити тим, що прямі та кислотні барвники фіксуються на поліамідних волокнах з утворенням іонних зв'язків, які відзначаються здатністю до дисоціації у водному середовищі, що, на нашу думку, сприяє взаємодії барвників із пігментними складовими танінових забруднень. Останнє знижує якість видалення плям чаю та кави. Крім того, наявність в молекулі прямого червоного барвника двох гідроксильних груп збільшує ймовірність взаємодії його із забрудненнями в порівнянні з кислотним барвником.

Активні барвники міцно фіксуються на поліамідних волокнах, що унеможливує взаємодію барвників із пігментними складовими танінових забруднень.

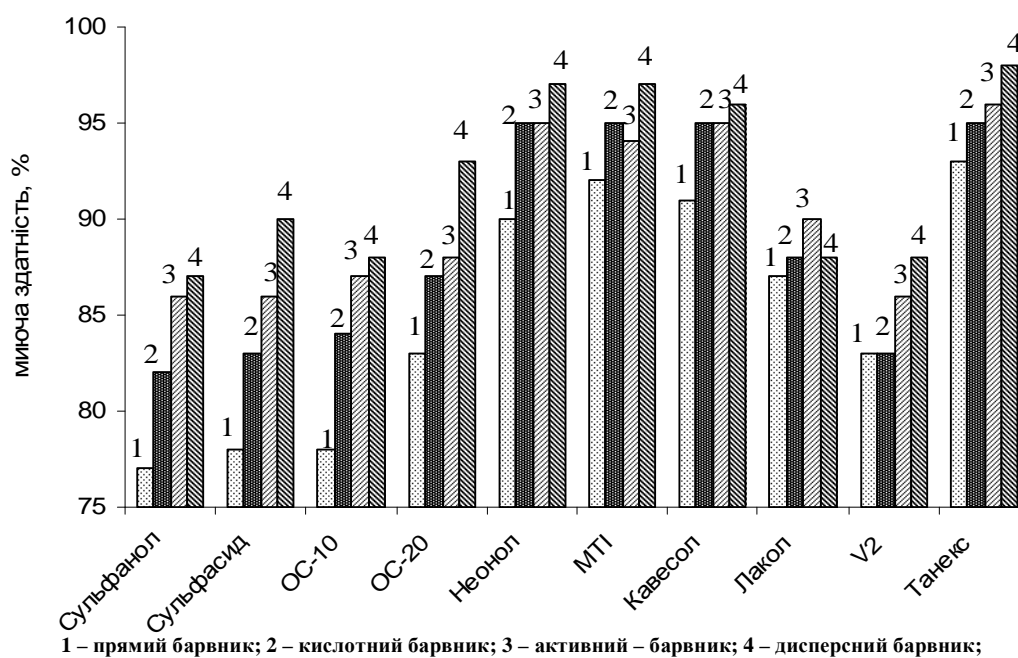
Дисперсні барвники фіксуються на волокні за допомогою водневих зв'язків та проявів сил Ван-дер-Ваальса і можуть аналогічно взаємодіяти із фарбуючи ми речовинами танінових забруднень, але невисока енергія взаємодії обумовлює легке видалення забруднень, про що свідчать високі значення миючої здатності плямовивідних засобів.

Вище зазначене підтверджується діаграмами, поданими на рис. 1, 2, які демонструють якість видалення плям від соків.

За ефективністю видалення танінових забруднень з пофарбованих поліамідних матеріалів барвники можна розмістити в ряд: дисперсні > активні > кислотні > прямі.

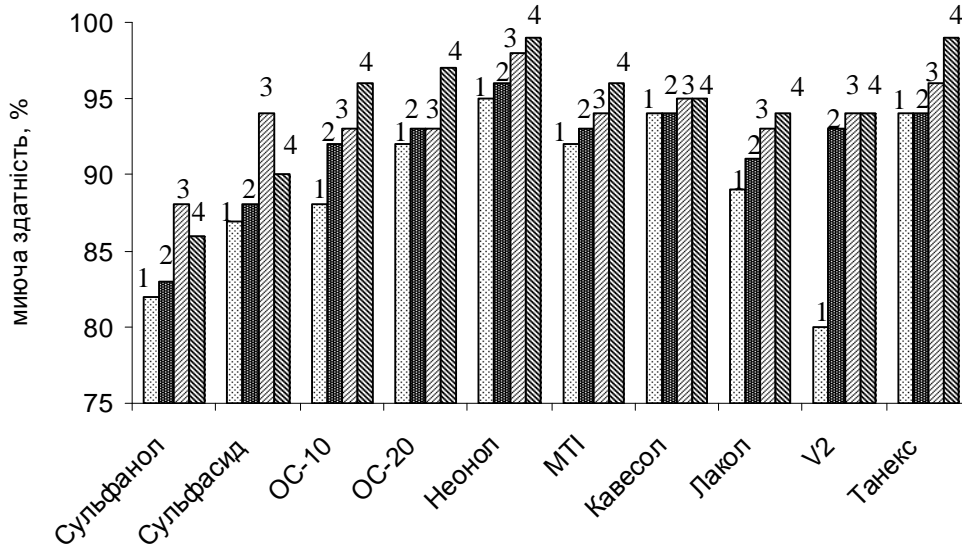
Результати досліджень свідчать, що найбільш ефективними ПАР при видаленні плям чаю, кави і соків є Неонол (неіоногенний препарат). Серед плямовивідних препаратів найвищу миючу здатність мають препарат МТІ, Кавесол (чай, кави) і препарат Танекс (соки).

Вищезгадані плямо вивідні засоби і ПАР можна рекомендувати для використання на підприємствах хімічного чищення (табл. 3)



1 – прямий барвник; 2 – кислотний барвник; 3 – активний – барвник; 4 – дисперсний барвник;

Рис. 1. Миюча здатність плямовивідних препаратів та ПАР при видаленні плям винограду



1 – прямий барвник; 2 – кислотний барвник; 3 – активний – барвник; 4 – дисперсний барвник;
Рис. 2 Миюча здатність плямовивідних препаратів та ПАР при видаленні плям гранату

Таблиця 3

Рекомендовані ПАР і плямовивідні засоби для видалення танінових забруднень з капронової тканини, пофарбованої різними класами барвників

Вид барвника	Чай		Кава		Виноград		Гранат	
	ПАР	Засіб	ПАР	Засіб	ПАР	Засіб	ПАР	Засіб
Прямий	Неонол	Кавесол МТІ	Неонол	Кавесол, МТІ	Неонол	Танекс	Неонол	Танекс
Кислотний	Неонол	Кавесол МТІ	Неонол	Кавесол, МТІ	Неонол	Танекс	Неонол	Танекс
Активний	Неонол	Кавесол МТІ	Неонол ОС-10	Кавесол, МТІ	Неонол	Танекс	Неонол	Танекс
Дисперсний	Неонол	Кавесол МТІ	Неонол	Кавесол, МТІ	Неонол	Танекс	Неонол	Танекс

Висновки

1. Клас барвника, його хімічна будова і відповідно здатність утворювати різні види зв'язків з волокном впливає на якість процесу видалення танінових забруднень з пофарбованих поліамідних матеріалів.

2. Прямі барвники на поліамідному волокні фіксуються за допомогою іонних зв'язків, тому забарвлення на цих матеріалах, як і на вовняних, стійке до дії ПАР і плямовивідних препаратів.

3. Чим інтенсивніша взаємодія барвника з волокном, тим менша ймовірність взаємодії барвника із забрудненням, що пояснюється відсутністю вільних реакційноздатних груп. Відповідно і миюча здатність плямовивідних засобів вища (активні барвники).

Послаблення взаємодії барвників з волокном (кислотні і прямі барвники) збільшує ймовірність взаємодії барвника із забрудненням. Миюча здатність плямовивідних засобів при цьому знижується і залежить від виду зв'язку барвник-забруднення. Більш висока енергія такого зв'язку знижує миючу здатність хімічних засобів. І навпаки: утворення слабких водневих зв'язків сприяє більш легкому видаленню танінових забруднень з поліамідних матеріалів (дисперсні барвники).

4. Більш ефективно з поліамідних матеріалів видаляються плями від соків, ніж від кави та чаю. Очевидно, спорідненість забарвлюючих речовин, що містяться у каві та чаю до поліамідних волокон значно вища.

Література

1. Тебляшкіна Л.І. Дослідження впливу класу барвника на процес видалення танінових забруднень з пофарбованих бавовняних матеріалів / Л.І.Тебляшкіна, І. Г. Брюхова, О.Баглай // Вісник ХНУ. – 2011. – № 3 – С. 145-149.
2. Тебляшкіна Л.І. Дослідження процесу видалення танінових забруднень з пофарбованих вовняних матеріалів / Л.І.Тебляшкіна, І. Г. Брюхова, О.І. Кулаков // Вісник ХНУ. – 2012. – № 1 – С. 66-69.
3. Тебляшкіна Л.І. Дослідження процесу видалення водорозчинних забруднень з текстильних матеріалів (повідомлення 1) / Л.І.Тебляшкіна, І. Г. Брюхова, І.О.Ткаченко // Вісник ХНУ. – 2010. – № 1. – С. 255-258.

Надійшла 10.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Ганзюк А.Я.

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕКСТИЛЮ ШЛЯХОМ ЙОГО ПОВЕРХНЕВОЇ МОДИФІКАЦІЇ АНТИМІКРОБНИМИ ПРЕПАРАТАМИ

Дана порівняльна характеристика антимікробного ефекту текстильних матеріалів одягового, інтер'єрного, взуттєвого, спеціального та технічного призначення, модифікованих різними типами біоцидних, силіконових, фторорганічних і латексних обробних препаратів. Обґрунтована доцільність використання антимікробного ефекту на цих матеріалах для об'єктивної оцінки рівня їх екологічної безпечності.

Ключові слова: біостійкість, гігієнічність, екологічна безпечність, текстильні матеріали, поверхнева модифікація.

The comparative characteristics of biological stability of cellulose textile materials, modified by some biocide, silicon and organofluoric finishing preparations is given. Biocide effect stability on this textiles to action of repeated washing and weather is studied.

Key words: biocide finishings, biological stability, biological destruction, cellulose-destroying microorganisms, textile modified materials.

Вступ. В останні роки, як свідчить аналіз літературних даних [1,2,3], антимікробна обробка текстильних матеріалів і виробів одягового, інтер'єрного, спеціального та технічного призначення стала ефективним інструментом не тільки для захисту цих матеріалів і виробів від мікробіологічної деструкції, але й надання їм комплексу корисних специфічних властивостей (гігієнічності, екологічної безпечності, комфортності в експлуатації та інших).

Найбільш перспективною виявилась поверхнева модифікація антимікробними препаратами текстильних матеріалів і виробів одягового і білизняного призначення (особливо для дитячого асортименту, санітарно-профілактичного і медичного призначення). Тому нині якість антимікробної обробки названих матеріалів і виробів оцінюється не стільки здатністю обраних антимікробних препаратів гарантувати отримання високих, стійких до дії різних фізико-хімічних чинників ефектів, скільки нешкідливістю їх використання для людини та довкілля. Мова йде передусім про екологічну безпечність самих препаратів, технології їх виробництва та застосування в різних підгалузях текстильного виробництва. Більше того, антимікробна обробка багатьох видів текстильних матеріалів і виробів саме завдяки надання цим матеріалам і виробам бажаного рівня екологічної безпечності та гігієнічності нині стала одним із основних чинників і гарантів їх успіху на ринку.

Метою даної роботи було: узагальнення літературних даних і результатів власних досліджень, присвячених вивченню впливу антимікробної обробки текстильних целюлозовмісних одягових, інтер'єрних і взуттєвих матеріалів на формування їх екологічної безпечності, гігієнічності та біостійкості.

Викладення основного матеріалу та його авторська товарознавча трактовка

На основі аналізу літературних даних [4,5,6] і результатів наших досліджень [7,8,9,10,11,12], присвячених розкриттю ролі антимікробної обробки текстильних матеріалів і виробів у формуванні їх екологічної безпечності, першочергову увагу, на нашу думку, варто приділити розгляду наступних блоків питань:

- пошуку нових типів перспективних екологобезпечних обробних препаратів для антимікробної екологобезпечної обробки текстильних матеріалів різного цільового призначення та способів виробництва (тканого, нетканого, трикотажного, килимового);
- пошуку ефективних шляхів захисту текстильних матеріалів і виробів різного волокнистого складу та призначення від біопшкоджень шляхом їх поверхневої модифікації різними типами обробних препаратів;
- пошуку перспективних поліфункціональних обробних препаратів, використання яких гарантує отримання на текстильних матеріалах і виробках одночасно декілька бажаних ефектів (біостійкості, водоопірності, вогнетривкості, формостійкості та інших);
- вдосконалення екологічних нормативних документів, що стосуються обґрунтування вимог до екологічної безпечності модифікованими біоцидними препаратами текстильних матеріалів, а також нормативів, критеріїв і методів її оцінювання;
- потребою в розкритті ролі антимікробної обробки текстильних матеріалів і виробів (особливо одягового призначення) у формуванні структури асортименту, властивостей і рівня якості екологобезпечних їх видів (екотекстилю);
- розкриття механізму взаємодії антимікробних препаратів і їх композицій з іншими обробними препаратами з різними фізіологічними групами (грибами, бактеріями, актиноміцетами, патогенними і ґрунтовими) та їх видами;
- розкриття ролі окремих фізіологічних груп і видів мікроорганізмів у формуванні підодягового мікроклімату, а також клімату житлових і адміністративних приміщень, в різних видах транспорту та інших;
- узагальнення зарубіжного досвіду антимікробної обробки текстильних матеріалів різного цільового призначення, способів виробництва та волокнистого складу.

Зупинимось на більш детальному розгляді деяких з окреслених питань, акцентуючи при цьому основну увагу на розкритті ролі антимікробної обробки текстильних целюлозомістких одягових, інтер'єрних, взуттєвих і спеціальних матеріалів в одночасному формуванні їх біостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності.

Для прикладу спочатку наведемо результати досліджень деяких авторів, присвячених розкриттю ролі антимікробної обробки текстильних матеріалів у формуванні їх біостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності. Так, в роботі [3] наведені результати вивчення впливу комплексної біоцидної і високоякісної комфортної заключної обробки платтяно-сорочкових бавовняних тканин з використанням екологічнобезпечних малоформальдегідних препаратів і препаратів з вмістом нано-частинок срібла на зміну їх механічних і фізичних властивостей. Виробнича апробація даного способу обробки на ВАТ „Трьохгорна мануфактура” (м.Москва) підтвердила її високу ефективність і доцільність впровадження в практику текстильного обробного виробництва даної технології.

В роботі [6] підкреслюється можливість промислового виробництва біоцидних обробних препаратів з широким спектром їх антисептичних властивостей. Обґрунтовано вибір названих препаратів і рецептуру оброблення цими препаратами для подавлення життєдіяльності пліснявих грибів. На основі цих препаратів були створені антимікробні композиції „Комбатекс” для протигнильної і фунгіцидної обробки льоновомісних текстильних матеріалів. При використанні названого препарату зона затримки росту грибкових культур на льоновомісній тканині складає 12-22 мм, а коефіцієнт її біостійкості – 92-96 %. При цьому після оброблення препаратами серії „Комбатекс” лляних тканин вони виявилися стійкими навіть до агресивної ґрунтової мікрофлори.

З метою одночасного надання текстильним матеріалам в процесі їх антимікробного оброблення необхідної біостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності нами для поверхневої модифікації і дослідження властивостей цих матеріалів були використані [7-12]:

- різні типи обробних препаратів (біоцидних, силіконових, фтор-органічних, карбамольних і латексних);
- текстильні матеріали одягового (платтяно-сорочкові і плащові тканини різного волокнистого складу), інтер'єрного (бавовняні і лляні тканини для постільної білизни, віскозно-мідноаміакові прошивні неткані полотна для покриття підлоги), спеціального (бавовняні тканини для білизни медичного призначення), взуттєвого (бавовняні тканини для підкладки, комплексні матеріали для верху, неткані матеріали для прокладки) і технічного (чоходльно-наметові та пакувальні тканини різного волокнистого складу) призначення.

Поверхнева модифікація досліджуваних матеріалів різними типами антимікробних і поліфункціональних препаратів проводилась в лабораторних і виробничих умовах на текстильних підприємствах України та Росії [8,9].

Отримані результати проведених нами експериментальних досліджень впливу антимікробного оброблення досліджуваних текстильних матеріалів на зміну їх біостійкості, зносостійкості, формостійкості, гігієнічності, екологічної безпечності дозволяють зробити наступні узагальнюючі висновки та пропозиції [7,8,9,10,11,12]:

1. Антимікробна обробка досліджуваних текстильних матеріалів дозволяє досягти на цих матеріалах не тільки певних ефектів біостійкості, але й в деякій мірі покращити їх гігієнічність та екологічну безпечність. При цьому виявлено, що ефективність даної обробки залежить від багатьох чинників, основними з яких можна вважати: хімічний склад і будову самих препаратів, рецептурний склад і технологію оброблення, волокнистий склад і попередню підготовку до модифікації цих матеріалів; величину, стабільність і довговічність отриманих ефектів, вплив на зміну інших властивостей матеріалів (їх зносостійкість, зовнішній вигляд і інші), економічну та екологічну доцільність використання того чи іншого біоцидного препарату; можливість використання для поверхневої модифікації поліфункціональних обробних препаратів [8,9,10].

2. На прикладі текстильних матеріалів різних способів виробництва, волокнистого складу та призначення встановлено, що одні і ті ж види обробних антимікробних препаратів вибірково пригнічують або подавляють життєдіяльність різних фізіологічних груп і видів мікроорганізмів (грибів, бактерій, актиноміцетів, патогенних і ґрунтових). Це відкриває можливість шляхом поверхневої модифікації цих матеріалів цілеспрямовано змінювати чисельність названих мікроорганізмів залежно від реальних умов експлуатації виробів із цих матеріалів і необхідності формування заданої чи бажаної їх гігієнічності, біостійкості та екологічної безпечності [7,9,11,12].

3. Співставлені отримані ефекти біостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності, досягнуті на текстильних матеріалах тканого і нетканого виробництва; одягового, інтер'єрного, взуттєвого та медико-профілактичного призначення; із целюлозовмісних волокон (бавовняних, лляних, віскозних і мідноаміакових), модифікованих традиційними біоцидними препаратами (катаміном АБ, метацидом, препаратом АБП-40, 8-оксихінолятом міді, саліциланлідом, містоксом LSL), поліфункціональними силіконовими препаратами (ГКР-94, ГКР-10, толуольними і безтолуольними емульсіями смоли МБ-1 і МБ-2, толуольною емульсією ПНЗу та іншими), емульсіями фторорганічних препаратів (марки ФВ 2/180 і ФВ-16), а також різноманітних поєднань названих груп препаратів. Так, наприклад, серед біоцидних препаратів

(катамін АБ, метацид і АБП-40) найбільш ефективним для гальмування життєдіяльності патогенних мікроорганізмів (стафілокока, кишкової палички і грибка Сабуро) виявився препарат катамін АБ (особливо чутливим до даного препарату виявився стафілокок). Порівняння антимікробних ефектів, досягнутих на бавовняній білизняній тканині біоцидними (γ -оксихінолат міді, саліциланілід і місток LSL), силіконовими (50 %-на емульсія ГКР-94 і 30 %-ний спиртовий розчин ГКР-10) і карбамідним (карбамол М) препаратами показало, що найвищий антимікробний ефект на названій тканині досягається після її модифікації γ -оксихінолатом міді, толуольною 50 %-ною емульсією смоли МБ-1 і карбамідним препаратом карбамол М. Перевагою обраних силіконових препаратів над біоцидними і особливо карбамольними є те, що їх використання не пов'язане з погіршенням механічних властивостей бавовняних тканин [7,9].

4. Порівняння ефективності досягнутих на бавовняних білизняних і платтяно-сорочкових тканинах ефектів біостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності в результаті їх поверхневої модифікації силіконовими (50 %-на толуольна емульсія смоли МБ-1 та 35 %-на толуольна емульсія ПНЗу) і фторорганічними препаратами ФВ 2/180 і ФВ-16 в порівнянні з ефектами, досягнутими в результаті прищеплення до макромолекул целюлози названих тканин різних типів біоцидних препаратів (поліакрилової кислоти, гексахлорофену, четвертичної солі полі-2-метил-5-вінілпіридину) показало безперечну перевагу використання для цих цілей силіконових препаратів. До того ж, надання текстильним матеріалам антимікробного ефекту шляхом прищеплення до них біоцидних препаратів виявилось економічно не виправданим [9].

5. Поверхнева модифікація силіконовими препаратами ГКР-10: КЕ-42-20-42 %-на емульсія смоли поліфенілсилоксанолу і КЕ-50-17-50 %-на толуольна емульсія смоли МБ-1 (поліметилбутоксисилоксанолу) віскозно-мідноаміакового нетканого прошивного полотна для підлогового покриття і комплексна оцінка його властивостей (гігієнічності, зносостійкості, біостійкості, екологічної безпечності) підтвердили доцільність його промислового виробництва та широкого використання в житлових, адміністративних приміщеннях, на транспорті та інших галузях. Названі види підлогових покриттів дозволяють не тільки прикрасити житлові та адміністративні приміщення, але й сприяти поліпшенню їх мікроклімату [9].

6. Суттєвий вплив антимікробна обробка має і на формування асортименту та властивостей екологобезпечних текстильних матеріалів і виробів взуттєвого призначення. Це стосується матеріалів різних способів виробництва, волокнистого складу та цільового призначення (для верху взуття та його підкладки і міжпрокладки). Так, в результаті поверхневої модифікації біоцидними (катамін АБ, метацид і препарат АБП-40), силіконовими (ГКР-10, АМСР) і їх композиціями взуттєвих вовняних підкладкових тканин і міжпідкладкових лавсано-віскозних (70 % лавсанових в 30 % віскозних волокон) клеєних і бавовняних ниткопрошивних полотен були виявлені оптимальні їх варіанти за біостійкістю, гігієнічністю та екологічною безпечністю. Це дозволило розкрити роль антимікробного оброблення взуттєвих підкладково-прокладкових текстильних матеріалів в оздоровленні внутрівзуттєвого мікроклімату [9].

7. Виправданою з екологічної точки зору виявилась поверхнева модифікація взуттєвих підкладкових тканин латексами: СКС-40, латексом, отриманим на основі акрилового співполімеру; латексом ДММ 4/65 ГП, а також дисперсією на основі вінілацетату й ізобутилмалеату [9]. Встановлено, що названі види латексів вибірково подавляють життєдіяльність різних фізіологічних груп і видів мікроорганізмів (грибів, бактерій, ґрунтових мікроорганізмів). При цьому встановлено, що найвищий антимікробний ефект на бавовняній тканині досягається після її модифікації дисперсією на базі вінілацетату й ізобутилмалеату. У цьому випадку в результаті обробки названим латексом загальна чисельність целюлозоруйнуючих мікроорганізмів на цій тканині знизилась більше, ніж в 3,5 рази. Що стосується стійкості даної тканини до дії ґрунтових мікроорганізмів, то для цього кращим виявився латекс ДММ. Таким чином, окрім розглянутих видів біоцидних, силіконових і фторорганічних препаратів, розглянуті види латексів також можна вважати придатними для антимікробного оброблення взуттєвих підкладкових текстильних матеріалів.

8. Дана порівняльна характеристика біостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності комплексних (двошарових і трьохшарових дубльованих) текстильних взуттєвих матеріалів різної будови та волокнистого складу, модифікованих різними типами силіконових препаратів (ГКР-10, АМСР, КЕ 119-215) і хромоланом. Встановлено, що в результаті модифікації досліджуваних комплексних матеріалів обраними обробними препаратами на них були досягнуті не тільки відповідні ефекти біостійкості та водоопірності, але й суттєво підвищилась їх стійкість до розшарування. При цьому виявлено, що величина відзначених ефектів визначається не тільки видом обробного препарату, але й суттєво залежить від волокнистого і компонентного складу цих матеріалів, а також від особливостей їх будови. При цьому показано, що на вовновмісних матеріалах кращі ефекти біостійкості та водоопірності досягнуті після їх оброблення КЕ-119-215 і хромоланом, а на целюлозовмісних відповідно після обробки ГКР-10. Встановлено, що малоцільна структура трикотажних і нетканних полотен, які були використані для дублювання, не дозволяє отримати на цих варіантах комплексних матеріалів необхідного ефекту водоопірності. Встановлено також, що біостійкість комплексних взуттєвих матеріалів виявилась значно вищою, ніж їх складових компонентів. Важливо і те, що обробка комплексних досліджуваних матеріалів силіконовими препаратами суттєво зменшує їх здатність до руйнування під дією мікроорганізмів [9].

9. Встановлено, що механізм взаємодії окремих типів силіконових препаратів з деякими видами целюлозоруйнуючих мікроорганізмів на целюлозних текстильних матеріалах дуже складний і залежить від багатьох чинників (родового та видового складу мікроорганізмів, хімічної будови та компонентного складу

обробних препаратів, особливостей технологічних режимів самої антимікробної обробки). Нами на прикладі двох найбільш активних видів целюлозоруйнуючих мікроорганізмів (гриба *Trichoderma lignorum* й бактерії роду *Sutophaga*) описано можливий механізм руйнування ними бавовняної вибіленої тканини до і після її оброблення різними типами силіконових обробних препаратів (ГКР-94, толуольна і безтолуольна емульсія смоли МБ-1 та толуольна емульсія ПНЗу).

Загальні висновки

1. Дана порівняльна характеристика біостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності текстильних целюлозовмісних матеріалів одягового, інтер'єрного, взуттєвого, спеціального та технічного призначення, поверхнево модифікованих різними типами біоцидних, силіконових, фторорганічних і латексних обробних препаратів та виявлені оптимальні варіанти цих матеріалів.

2. Встановлено, що різні типи обробних біоцидних, силіконових препаратів і їх композиції вибірково гальмують розвиток на целюлозомісних текстильних матеріалах різних фізіологічних груп і видів мікроорганізмів, включаючи патогенні і ґрунтові, що відкриває можливість цілеспрямованого регулювання чисельності цих мікроорганізмів на матеріалах різного цільового призначення з врахуванням реальних умов їх експлуатації.

3. На прикладі текстильних матеріалів різних способів виробництва та цільового призначення, модифікованих різними типами біоцидних і силіконових препаратів, обґрунтована доцільність використання їх антимікробного ефекту як об'єктивного критерію оцінки екологічної безпечності цих матеріалів і внесення його у відповідні екологічні нормативні документи.

Література

1. Боссард Мартин. Гигиеническая защита текстильных материалов как аргумент для продажи изделий. Пример высокого маркетинга / Мартин Боссард // Российский химический журнал (Ж.Рос.Хим.об-ва им.Д.И.Менделеева). – 2002. – т.XLVI. – № 2. – С.62-65.

2. Разуваев А.В. Экологичность и безопасность биоцидной отделки текстильных материалов в соответствии с требованиями стандарта «Эко-текстиль» / А.В. Разуваев // Текстильная химия. – 2011. – № 4. – С.15-19.

3. Ковальчук Л.С. Биоцидная отделка тканей для охраны здоровья людей / Л.С. Коновальчук, Л.К.Акулова, Н.С.Афтаева и др // Текстильная промышленность. – 2011. – № 5. – С.30-32.

4. Ильичев В.Д. Экономические основы защиты от биоповреждений / В.Д.Ильичев, Б.В.Бочаров, М.В.Горленко. – М.: Наука, 1985. – 264с.

5. Калонтаров И.Я. Придание текстильным материалам биоцидных свойств и устойчивости к микроорганизмам / И.Я.Калонтаров, В.Л.Ливерант. – Душанбе: Дониш, 1981. – 202с.

6. Разуваев А.В. Природные антимикробные свойства натуральных волокон и вопрос их дополнительной биоцидной отделки / А.В.Разуваев // Текстильная промышленность. – 2011. – № 5. – С.38-42.

7. Діанич Л.М. Біостійкість бавовняних тканин з різною обробкою / Л.М. Діанич, І.С. Галик, Б.Д. Семак, Р.М. Парашук // Легка промисловість. – 1979. – № 4. – С.46-47.

8. Парашук Р.М. Влияние модификации целлюлозных материалов на их биостойкость / Р.М. Парашук, М.М. Дианич, И.С. Галык, Б.Д.Семак и др // Текстильная промышленность. – 1982. – № 3. – С.61-62.

9. Галик І.С. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів: Монографія / І.С. Галик, О.Б. Концевич, Б.Д. Семак. – Львів: Вид-во Львівської комерційної академії, 2006. – 232с.

10. Семак Б.Б. Підвищення біостійкості та екологічної безпеки текстильних матеріалів шляхом їх поверхневої модифікації / Б.Б. Семак, І.С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2007. – № 4 (36). – С.47-51.

11. Галик І.С. Вплив оброблення текстильних матеріалів на формування рівня їх біостійкості та екологічної безпечності / І.С.Галик, Б.Д.Семак // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2009. – № 1 (15). – С.16-19.

12. Галик І.С. Шляхи ефективного захисту текстилю від біошкоджень / І.С.Галик, Б.Д.Семак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2012. – № 3. – С.111-117.

Надійшла 26.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Доманцевич Н.І.

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ХОЛОДНОГО ВИБІЛЮВАННЯ ДЛЯ ПЛАТТЯНИХ ЛЛЯНИХ ТКАНИН

У статті наведено результати визначення комплексного показника якості платтяних лляних тканин, що піддавались вибілюванню холодним способом, та розраховано соціально-економічну ефективність застосування запропонованих рецептур вибілюючих розчинів

Ключові слова: лляні тканини, вибілювання, ступінь білості, показник якості.

The results of determination of complex quality wardrobes linen exposed bleached cold method, and calculated socio-economic efficiency of the proposed formulations bleaching solutions

Keywords: linen fabric bleaching, the degree of whiteness, Quality

Вступ

Аналіз наукових праць показує, що в даний час дослідження споживних властивостей лляних тканин, що оброблені із застосуванням ресурсозберігаючих текстильних технологій, ведуться дуже активно. Пошуки шляхів мінімізації ресурсного потенціалу та екологізації текстильного виробництва висвітлені в працях як вітчизняних, так і зарубіжних вчених (Скляннікова В.П., Кричевського Г.С., Пугачевського Г.Ф., Семака Б.Д., Глубіша П.А., Галика І.С., Козьмича Д.І. та ін.), але до цього часу в Україні впроваджено у виробництво технологію холодного вибілювання лише бавовняних тканин. Щодо лляних вітчизняних тканин, проблеми інтенсифікації їх виробництва та оброблення остаточно не вирішені. Залишаються недостатньо вивченими властивості лляних тканин, вибілених із застосуванням вдосконалених технологій та рецептур вибілюючих розчинів.

Постановка завдання

Метою даної роботи є обґрунтування доцільності застосування способу холодного вибілювання для лляних тканин шляхом визначення комплексного показника якості оброблених тканин та розрахунку соціально-економічної ефективності від застосування запропонованої безсилікатної рецептури вибілюючого розчину.

Об'єктом дослідження обрано лляні тканини: зразок № 1 – вибілений на Рівненському льонокомбінаті (ВАТ «Т-Стиль») за традиційною схемою безперервної обробки лляної тканини джгутом на п'ятисекційній лінії ЛЖО-1-Л (базовий); зразок № 1-1 – вибілений «холодним способом» за рецептурою №1 з попереднім розшліхтовуванням; зразок № 1-2 – вибілений «холодним способом» за рецептурою №1 без попереднього розшліхтовування; зразок № 1-3 – вибілений «холодним способом» за рецептурою № 2 безсилікатним способом.

Виклад основного матеріалу

Вибілювання лляних тканин холодним способом проведено в лабораторних умовах науково-дослідної лабораторії ДП «Хімтекс» (м. Херсон). Попередньо нами досліджувався вплив різних концентрацій препаратів, технологічні особливості процесу вибілювання і на їх основі були вибрані рецептури, наведені в табл. 1. Запропонований компонентний склад рецептур для вибілювання лляних тканин відрізняється видом окиснювача та текстильно-допоміжних речовин, а також їх концентраціями.

Таблиця 1

Рецептури для вибілювання досліджуваних тканин традиційним та холодним способами

Шифр тканин	Варіант рецептури	Компонентний склад	Концентрація, г/л
1	Традиційне фабричне	Натрій гіпохлорит	27
		Водень пероксид 35%-ий	50
		Натрій силікат	3,0
		Гідроксид натрію, 100%-ий	15
		Змочувач	2,0
		Щавелева кислота	2,5
1-1	Рецептура № 1 з попереднім розшліхтовуванням	Натрій метасилікат	24
		Натрій гідроксид NaOH	10
1-2	Рецептура № 1 без розшліхтовування	Оптичний вибілювач	1
		Водень пероксид 40%-ий	30
		ПАР (БИЛО-ТЕКС)	1
1-3	Рецептура № 2 (безсилікатне вибілювання)	Водень пероксид 60%-ий	55
		Натрій гідроксид 100%-ий	20
		Сода кальцинована	2,5
		Коловет АН	0,5
		Коловет ПЛ	0,5
		Оптикол С конц.	0,2
		Колостат К	5

Механічні та фізичні властивості вибілених тканин досліджено інструментальними методами за стандартними методиками. Для оцінювання якості досліджуваних платтяних лляних тканин застосовано комплексний метод з використанням середньозваженого показника. Загальний алгоритм розрахунків включав наступні етапи:

- формування номенклатури одиничних показників якості платтяних лляних тканин;
- визначення коефіцієнтів вагомості одиничних показників експертним методом та відбір найбільш значимих показників з їх ранжуванням;
- визначення кількісних характеристик базових та обраних показників якості;
- розрахунок відносних одиничних показників якості для кожного зразка досліджуваних тканин диференціальним методом;
- розрахунок комплексного показника якості для кожного зразка досліджуваних тканин шляхом перемножування значень оцінок одиничних показників і відповідних їм коефіцієнтів вагомості з наступним усередненням (метод середньозважених розмірів).

Для визначення коефіцієнтів вагомості та виокремлення найбільш значимих показників розроблено анкету, в якій представлено показники якості платтяних лляних тканин у вигляді ієрархічної системи, на нижньому рівні якої розташовано найбільш прості з досліджуваних властивостей, а на верхньому – загальні, та проведено експертне дослідження [1,2].

Експертами виступали викладачі кафедр товарознавства провідних ВУЗів України. Для обробки результатів анкетування використовувалась методика експертної оцінки значущості обмеженої кількості показників якості та визначення узгодженості експертних оцінок [3]. Обробка результатів проводилась за допомогою програми Microsoft Excel 2000 на ПЕОМ.

В табл. 2 наведено перелік найбільш важливих за оцінками експертів показників якості платтяних лляних тканин з розрахованими для них коефіцієнтами вагомості.

Таблиця 2

Коефіцієнти вагомості показників якості платтяних лляних тканин

№ з/п	Показник якості	Коефіцієнт вагомості
1	Гігроскопічність	0,24
2	Коефіцієнт повітропроникності	0,20
3	Зміна лінійних розмірів після прання	0,18
4	Розривальне навантаження, Н	0,16
5	Ступінь білості	0,12
6	Туше	0,10
	Разом	1,00

Відносні одиничні показники якості розраховували диференціальним методом, що дозволило перейти до безрозмірних значень показників (табл. 3).

Таблиця 3

Відносні показники якості вибілених платтяних лляних тканин

№ з/п	Показники якості	Варіанти тканин						
		№ 1 базова	№ 1-1		№ 1-2		№ 1-3	
			Значення	Відносний показник, q_i	Значення	Відносний показник, q_i	Значення	Відносний показник, q_i
1	Гігроскопічність, %	9,0	111,0	1,22	15,0	1,36	15,0	1,36
2	Коефіцієнт повітропроникності, $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$	450	336	0,75	375	0,83	465	1,03
3	Зміна лінійних розмірів після прання, %	-5,3	-6,5	0,82	-7,0	0,76	-5,0	1,06
4	Ступінь білості, %	60,57	63,23	1,04	83,32	1,38	95,03	1,57
5	Розривальне навантаження, Н	583	584	1,01	606	1,04	648	1,11
6	Туше, бали	25	25	1,0	25	1,0	25	1,0

Як видно з табл. 3, за такими показниками, як гігроскопічність, ступінь білості та розривальне навантаження досліджувані вибілені тканини значно перевищують базову. Можна зробити висновок, що холодне вибілювання та запропоновані рецептури в цілому помітно підвищують якість лляних тканин. У тканин за № 1-1 та № 1-2, вибілених силікатним розчином, значно знизилась повітропроникність та збільшилась зсідання. При цьому повітропроникність залишилась в допустимих стандартом межах.

Розраховані комплексні показники якості платтяних вибілених тканин наведено в табл. 4.

Комплексні показники якості вибілених платтяних лляних тканин

	Зразок № 1-1	Зразок № 1-2	Зразок № 1-3
Комплексний показник якості	0,98	1,06	1,1

Як свідчать отримані дані, зразок за № 1-3 має найвищий показник якості, при цьому кожна з оцінених властивостей перевищує відповідні властивості базового зразка. Таким чином, рецептуру № 2 доцільно рекомендувати для використання в процесі холодного вибілювання платтяних лляних тканин як таку, що забезпечує високий рівень якості отриманих тканин й водночас є екологічною та економічною.

Розрахунок соціально-економічної ефективності є важливим чинником при обґрунтуванні найбільш вдалих новітніх розробок для впровадження їх у виробництво. Впровадження у текстильне виробництво нових рецептур вибілювання лляних тканин платтяного призначення дозволить: розширити асортимент платтяних лляних тканин для задоволення більшого кола споживачів; підвищити якість платтяних лляних тканин, зокрема їх естетичних властивостей, з метою більш повного задоволення потреб споживачів; знизити вартість вітчизняних лляних, що зробить їх доступними більшому колу споживачів (з урахуванням купівельної спроможності останніх); підвищити престижність вітчизняних лляних тканин на внутрішньому ринку та зорієнтувати споживача на підтримку українського виробника лляної продукції; підвищити екологічність виробництва та готової продукції за рахунок використання нешкідливих речовин для вибілюючих рецептур, що дасть змогу споживачу користуватися безпечними виробами при збереженні навколишнього середовища.

Очікуваний економічний ефект від впровадження у виробництво лляних тканин холодного методу вибілювання із застосуванням запропонованих рецептур розраховували у порівнянні з традиційним гіпохлоритним вибілюванням, що застосовувався на вітчизняних льонокомбінатах. Для цього порівнювали витрати на основні компоненти для вибілюючих розчинів за обома технологіями, застосовуючи формулу:

$$E = B_m - B_x \quad (1)$$

де B_m – вартість вибілюючого розчину за традиційною схемою білення, грн.;

B_x - вартість вибілюючого розчину за холодною схемою білення, грн.

Вартість вибілюючих реагентів розраховували в обох випадках з урахуванням їх витрат (K , кг/1000 м тканини) та ціни (C , грн./кг):

$$B = K \times C \quad (2)$$

Розрахунок витрат проведено за діючими цінами на час дослідження. До розрахунку не включались витрати води та електроенергії.

Таблиця 5

Витрати на хімічні матеріали для вибілювання лляних тканин за традиційною технологією

№ з/п	Назва компонента	Концентрація компонента, г/л	Ціна компонента, грн./кг	Витрати компонента, кг/1000 м.п.	Вартість оброблення 1000 м.п., грн.
1	Гіпохлорит натрію	27	4,5	66,83	300,74
2	Силікат натрію	3,0	5,0	7,43	37,15
3	Гідроксид натрію, 100%-ий	15	7,8	37,12	289,54
4	Пероксид водню 35%-ий	50	4,0	123,76	495,04
5	Змочувач	2,0	35,0	4,96	173,6
6	Щавелева кислота	2,5	15,5	6,18	95,79
Всього на 1000 м.п.					1391,86

Таблиця 6

Витрати на хімічні матеріали для вибілювання лляних тканин за холодною технологією (рецептура № 1)

№ з/п	Назва компонента	Концентрація компонента, г/л	Ціна компонента, грн./кг	Витрати компонента, кг/1000 м.п.	Вартість оброблення 1000 м.п., грн.
1	Метасилікат натрію	24,0	1,2	70,54	84,65
2	Гідроксид натрію, 100%-ий	10,0	7,8	28,67	223,63
3	Оптичний вибілювач	1,0	48,0	2,80	134,40
4	Пероксид водню 40%-ий	30,0	4,5	80,00	360,00
5	БИЛО-ТЕКС (ПАР)	1,0	35,0	3,10	108,5
Всього:					910,68

Витрати на хімічні матеріали для вибілювання лляних тканин за холодною технологією (рецептура № 2)

№ з/п	Назва компонента	Концентрація компонента, г/л	Ціна компонента, грн./кг	Витрати компонента, кг/1000 м.п.	Вартість оброблення 1000 м.п., грн.
1	Пероксид водню 60%-ий	55,0	4,0	115,50	462,00
2	Гідроксид натрію, 100%-ий	20,0	7,8	44,80	349,44
3	Сода кальцинована	2,5	5,8	6,10	35,38
4	Коловет АН	0,5	28,7	1,60	45,92
5	Коловет ПЛ	0,5	33,5	1,60	53,60
6	Оптикол С конц.	0,2	49,8	0,58	28,88
7	Колостат К	5,0	21,8	13,2	287,76
Всього:					1262,98

Таким чином, економічний ефект за рахунок впровадження пропонованих рецептур для вибілювання лляних тканин на кожні 1000 м.п. готової продукції складає:

- для тканини, вибіленої за рецептурою № 1
 $E = 1391,86 - 910,68 = 481,18$ грн.;
- для тканини, вибіленої за рецептурою № 2
 $E = 1391,86 - 1262,98 = 128,88$ грн.

Слід відмітити, що, не зважаючи на меншу економію на вибілюючих компонентах, рецептура № 2 характеризується як більш екологічна (відсутність силікатів та хлорумісних компонентів) та більш делікатна до тканини, що підтверджено визначеними показниками властивостей досліджених тканин.

Практично економічний ефект від застосування холодної технології вибілювання в поєднанні з пропонованими рецептурами на льонокомбінатах буде значно більшим, оскільки:

- з процедури вибілювання виключаються окремі етапи (наприклад, запарювання, дві операції промивання тканин гарячою водою та 5 операцій промивання холодною водою, які мають місце на лінії ЛЖО-1-Л), а отже, зменшаться загальні витрати води та пари;
- зменшуються витрати електроенергії (лінія ЛЖО-1-Л працює безперервно в три зміни).

Висновки

Показано, що застосування у виробничих умовах холодного вибілювання платтяних лляних тканин за запропонованими рецептурами забезпечує їм високий рівень якості та є економічно доцільним. Рецептура для холодного вибілювання лляних тканин за № 2 характеризується як більш екологічна та більш делікатна до тканини, про що свідчать розраховані показники якості. За результатами досліджень запропоновані рецептури та технологічний режим вибілювання лляних тканин впроваджено у практику роботи ДП «Хімтекс».

Література

1. Методика оценки уровня конкурентоспособности промышленной продукции. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 18 с.
2. Соловьев А.Н. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов / А.Н. Соловьев, С.М. Кирюхин. – М. : «Легкая индустрия», 1974. – 248 с.
3. Колосова Е.В. Разработка методики и оценка качества полульняных костюмно-плательных тканей: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук / Е.В. Колосова. – Москва, 1997. – 47 с.

Надійшла 16.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Кожушко Г.М.

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ СТРУКТУРИ ВОЛОКНИСТИХ ПРОДУКТІВ

Проаналізовані існуючі методи та засоби дослідження структурних показників, визначені їх особливості та недоліки. Запропонований експресний резонансний метод оцінки структури волокнистих продуктів.

Ключові слова: розпрямленість волокон, орієнтація волокон, резонансний метод.

Known methods and facilities of research of structural indexes are analysed, features and failings of those methods are certified. The express resonance method of estimation of structure of fibred products is offered.

Keywords: straightforwardness fibers. orientation of the fibers, the resonance method.

Економічна ситуація в текстильній промисловості і надзвичайно гостра конкуренція змушують виробників текстильної продукції використовувати всі можливості зменшення витрат виробництва. В цьому контексті особливо важливу роль займає висока продуктивність на кожному етапі прядіння та контроль за доцільним використанням сировини, які вимагають детальних та точних розрахунків, а також уточнення кількості технологічних переходів. Багато з цих розрахунків враховують коефіцієнти розпрямленості та орієнтації волокон, проте їх визначення є досить складною та трудомісткою задачею.

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

На сьогодні в прядильному виробництві немає достатньо простого і точного методу визначення коефіцієнту розпрямленості і орієнтації волокон у волокнистих продуктах, що ускладнює технологічні розрахунки. Тому є необхідність в розробці нових достатньо точних і експресних методів визначення цих показників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор:

Питанню вивчення розміщення волокон в волокнистих продуктах прядильного виробництва, оцінки їх форм, ступеня упорядкованості волокон займалось багато вчених [1-25], які довели значимість впливу цих структурних показників і необхідність розробки швидкого та точного методу їх визначення. Для характеристики розміщення волокон в структурі волокнистих продуктів були введені різні величини: розпрямленість, кут орієнтації, коефіцієнт орієнтації, коефіцієнт відносної паралелізації, коефіцієнт протяжності, наявність зігнутих кінчиків. Проте ці величини неідентичні хоча і корелюють між собою, тому при проведенні розрахунків важко визначити, який показник є більш доцільним.

Формулювання цілей статті (постановка задачі):

Метою даної роботи є: визначити найбільш простий, точний, експресний метод оцінки структури волокнистих продуктів на основі аналізу існуючих методів.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових даних:

Згідно класифікації методів визначення показників структури волокнистих продуктів [2] всі методи дослідження, залежно від особливостей дії на текстильний матеріал, поділяються на прямі та опосередковані.

Прямі методи дослідження полягають у безпосередньому вимірюванні розмірів та положення волокон щодо осі волокнистого продукту. До прямих методів дослідження відносяться метод промірювання волокон після витягування з зразка, проєкційні методи, методи мічених волокон (пофарбованих волокон, радіографії, люмінесцентний).

В роботі [3] найперше введено поняття коефіцієнтів орієнтації і розпрямленості волокон та визначено їх величини:

- ступінь орієнтації волокон у продукті, що характеризується коефіцієнтом орієнтації волокон,

v :

$$v = \cos \gamma \quad (1),$$

де $\cos \gamma$, косинус кута (рис. 1), що утворюється подовжньою віссю ox волокнистого продукту і лінією АВ, що сполучає найбільш віддалені точки волокна.

- ступінь розпрямленості волокон, що характеризується коефіцієнтом розпрямленості:

$$\eta = \frac{l_n}{l} \quad (2),$$

де l_n – протяжність волокон в продукті, відстань між найбільш віддаленими точками волокна; l – довжина волокна в розпрямленому вигляді.

Згідно цього методу волокна, що вилучені із відібраного волокнистого продукту зразка (прочісу, стрічки, рівниці) укладаються у вільному стані на чорну оксамитову дощечку, після чого вимірюється відстань між їх кінцями. Потім ці волокна розпрямлюються злегка зволженими пальцями і за допомогою

лінійки вимірюється їх дійсна довжина. Значення розпрямленості і орієнтації волокон всього зразка визначаються як середньозважені значення всіх досліджуваних волокон.

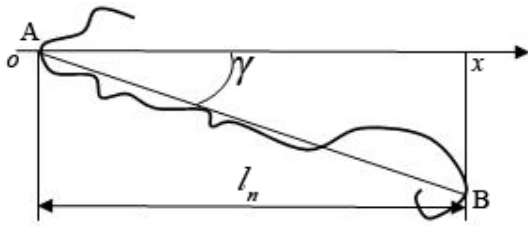


Рис. 1. Визначення коефіцієнта розпрямленості і орієнтації волокон: ox -подовжня вісь волокнистого продукту; AB – лінія, що сполучає найбільш віддалені точки волокна; l_n – протяжність волокон в продукті

Основний недолік цього методу полягає у тому, що він не визначає фактичної розпрямленості волокон, які знаходяться у зразку, так як розпрямленість визначається тільки після того як волокна вилучені із зразка і дія сил тертя і щеплення зі сторони сусідніх волокон усунена. Також не виключена можливість деформації волокон при їх витягуванні із зразка, що знижує точність визначення показників розпрямленості і орієнтації волокна.

Удосконалення і раціоналізація цього методу представлена у роботі [4], де запропоновано виготовити спеціальний штамп з набором паралельних смуг шириною 4 мм, кожна з яких забарвлювалася в свій колір. Фарба

набивалася на зразку спеціальним штампом, який прикладався до зразка так, щоб подовжня вісь продукту була перпендикулярна до смужок. Застосування такого штамп дозволило з більшою точністю відтворювати розміщення волокон після їх витягування із зразка. Недоліком цього методу є те, що фарбування зразку представляє суттєві труднощі. Чітких меж між ділянками різного кольору не досягається, що також ускладнює визначення розпрямленості волокон.

Спроби усунути вищезазначені недоліки представлені у роботах [5-7], де запропоновано так званий метод «проекційного ліхтаря». На екрані проекційної апаратури отримують зображення зразка і фіксують форму та розміщення волокон в ньому, а також розраховують значення структурних показників за вищенаведеними формулами (1, 2). Цей метод дозволяє більш точно, визначити розпрямленість і орієнтацію волокон, однак він придатний тільки для дослідження зразка незначної товщини. Зафіксувати всю довжину волокон не завжди вдається, і судити про ступінь розпрямленості доводиться лише по видимій частині волокна в зразку

До прямих методів дослідження відноситься також група методів «мічених» волокон. Сутність цих методів полягає у наступному: попередньо пофарбована або оброблена спеціальним розчином група волокон підмішується в суміш досліджуваної волокнистої маси та переробляється на технологічному устаткуванні. Оброблені волокна виділяються у зразку окремо від загальної маси досліджуваного зразка і їх конфігурація дозволяє судити про їх розпрямленість, протяжність і орієнтацію.

Наприклад, у роботі [8] використаний метод «мічених» волокон, при якому забарвлені в чорний колір волокна вводилися в зразок-стрічку, який занурювався в імерсійну рідину з показником заломлення, близьким до показника заломлення нефарбованого волокна. Потім зразок розглядався під мікроскопом, з'єднаним з пантографом, який викреслював на папері збільшене зображення волокон. За цим методом визначався ступінь паралелізації волокон в зразку:

$$\eta_n = \frac{l_{cmp}}{l_g}, \quad (3)$$

де l_{cmp} – протяжність волокна в структурі продукту спроекована на вісь зразка; l_g – довжина волокна в розпрямленому стані.

Цей метод не усуває недоліків вищеписаних методів, адже при зануренні зразка в імерсійну рідину не виключена можливість деформування самого зразка та зміщення розташування волокна в ньому, що спотворює значення досліджуваних показників.

Ще одним методом «мічених» волокон є люмінесцентний (флюорисцентний) метод [9], за яким волокна виварюють в оптичному відбілювачі або витравному барвнику, віджимають і висушують. Отримані таким чином «мічені» волокна вводять у настил – 0,5 % від його маси. Оброблені волокна мають білий колір і їх важко відрізнити на поверхні зразка настилу, тому їх вводять у зразок за допомогою спеціального шаблону. Зразок, який містить мічені волокна переробляється на технологічному устаткуванні. Отриманий зразок – настилу розміщується на спеціальних скельцях і фотографується в ультрафіолетових променях. Для зручності фотографування був розроблений і сконструйований спеціальний пристрій, який дозволив із всієї маси волокон зразка прочосувати лише мічені волокна.

Недоліком цього методу є те, що ультрафіолетові промені не дають можливості проглядати окремі волокна в зразках наскрізь і «мічене» волокно видно не за всією довжиною, а лише на його поверхні продукту.

Метод «мічених» волокон згодом розвинувся в роботах [10, 11, 12, 13], він заснований на застосуванні радіоактивних ізотопів і отримав назву методу радіографії. Цей метод ґрунтується на отриманні фотографічних знімків у результаті дії на фотопластину випромінювань радіоактивних елементів.

Перевагою методу радіографії є те, що радіографи волокон точно відображають їх форму і розміщення у зразку не тільки на поверхні, а й у його середині. Основним недоліком практичного використання методів радіографії є застосування радіоактивних ізотопів, що характеризуються високою небезпечністю. Це призводить до необхідності розробки заходів техніки безпеки, як в процесі мічення волокон, так і в процесі переробки на технологічному устаткуванні.

Аналізуючи розглянуті прямі методи дослідження структурних характеристик волокнистих продуктів можна сказати, що основна частина з них надає детальну інформацію про форму та розташування окремих волокон.

Найбільш точними з існуючих прямих методів є методи визначення розпрямленості волокон для деякої групи попередньо оброблених волокон – методи «мічених» волокон [1].

До недоліків прямих методів дослідження слід віднести значні затрати часу, адже для визначення структурних показників зразка волокнистого продукту необхідно отримати характеристики великої кількості окремих волокон. Деякі прямі методи потребують попередньої обробки і доведення оброблених волокон до відповідного продукту прядильного виробництва, в якому потрібно визначити їх розпрямленість. Ряд методів радіографії [10-13] є небезпечними для здоров'я людини і потребують розробки спеціальних заходів техніки безпеки, наявності спеціальних приміщень, що вимагає значних капіталовкладень.

В опосередкованих методах визначення орієнтації і розпрямленості волокон в структурі зразків волокнистих продуктів здійснюють на підставі залежності структури волокнистого продукту і деякої фізичної величини. Залежно від того, зміна якої фізичної величини фіксується, опосередковані методи дослідження поділяються на чотири групи: механіко-вагові, механічні, оптичні, капілярні.

Найбільш поширеним з опосередкованих методів є механіко-ваговий метод визначення розпрямленості і орієнтації волокон в прядильному виробництві – метод розчісування волокон зразка у спеціальному затиску [14]. Метод полягає в оцінці повздовжньої орієнтації волокон шляхом попереднього обрізання кінчика зразка досліджуваного волокнистого продукту у місці його затиску, вивільнення визначеної його довжини, вичісування і зважування із нього незатиснутих частин волокон, відрізання і зважування розпрямлених кінчиків волокон, що вийшли за лінію початкового затиску за рахунок розпрямлення при прочісуванні і, нарешті, відрізання і зважування кінчиків волокон, що залишились на ділянці, вивільненої від затиску.

В роботах [15, 16] удосконалено і раціоналізовано зазначений механіко – ваговий метод шляхом внесення деяких змін в методику визначення орієнтації волокон та рекомендовано для практичного застосування пристрій, що відрізняється конструкцією затискачів (рис. 2). Зміна пристрою полягає в наявності двох знімних пластинок, що дозволяє здійснювати двосторонній відбір зразків у прямому і зворотному напрямку.

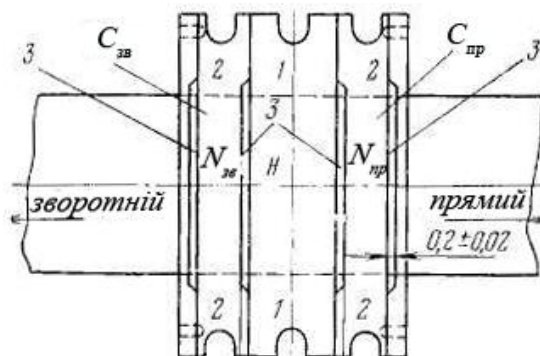


Рис. 2. Схема розміщення верхніх пластинок затискового пристрою і частини зразка, затиснених цими пластинками
1 – середня пластинка; 2 – з'ємні пластинки; 3 – прорізи.

За цим методом визначались такі показники структури зразків волокнистих продуктів, як: частка загнутих кінчиків ρ і коефіцієнт відносної паралелізації $K_{он}$.

$$\rho_{np} = \frac{E_{np}}{E_{np} + N_{np}}; \quad \rho_{зв} = \frac{E_{зв}}{E_{зв} + N_{зв}} \quad (4)$$

$$K_{он_{np}} = \frac{C_{np}}{C_{np} + N_{np} + E_{np}}, \quad K_{он_{звор}} = \frac{C_{звор}}{C_{звор} + N_{звор} + E_{звор}} \quad (5)$$

де C_{np} і $C_{зв}$ – частка волокон, вичесаних після вивільнення із затискача частини довжини напівфабрикату; E_{np} і $E_{зв}$ – частка кінців волокон, що вийшли за лінію, по яку спочатку відрізували зразок в результаті розпрямлення чи розчісування; N_{np} і $N_{зв}$ – частка розпрямлених волокон, що залишились під середньою пластинкою 1;

У роботі [17] розглянуто механічний метод, в якому ступінь розпрямленості волокон визначається на основі подовження досліджуваного зразка стрічки при навантаженні. До кожного з двох кінців зразка стрічки, що вийшла з витяжного пристрою, закріплювали затискач з таким розрахунком, щоб більшість волокон, які склали зразок, була одночасно затиснена в обох затискачах. Потім до одного із затискачів (рухомого) приклали силу P , затискачі розсували, а зразок отримував деяке подовження. Для оцінки розпрямленості волокон користувались емпіричною формулою залежності між подовженням довжини зразка під навантаженням і показником розпрямленості, що була знайдена експериментальним шляхом:

$$\eta = 90,55 - 0,16a + 0,00016a^2 \quad (6)$$

α – показник подовження зразка стрічки, мм²

Запропонований метод достатньо простий, швидкий, має велику чутливість навіть при великих подовженнях та дозволяє визначати розпрямленість волокон без їх витягування із зразка. Проте цей метод не достатньо точний, що в свою чергу призводить до необхідності збільшення кількості вимірювань для отримання достовірного результату.

В оптичних методах [1, 18, 19], показники паралелізації, розпрямленості і орієнтації волокон визначали залежно від дзеркальної складової розсіяного випромінювання, поляризації падаючого потоку випромінювання, рівнобіжного пучка світлових променів, інтенсивності пропущеного світла тощо.

Цікавим є оптичний метод [20-22] визначення ступеня паралелізації волокон у волокнистих зразках, заснований на несиметричному розподіленні у просторі світла, розсіяного орієнтованими волокнами. На цьому принципі сконструйований спеціальний пристрій [20] за допомогою якого визначення коефіцієнта паралелізації волокон практично зводиться до вимірювання інтенсивності розсіяного світла при вказаних кутах падіння і його розсіювання при двох положеннях зразка. Ступінь паралелізації волокон K визначався за формулою:

$$K = \frac{I_1 - I_2}{I_2} \quad (7)$$

де I_1 – кількість енергії світла, розсіяних світлових потоків при положенні зразка коли вісь орієнтації волокон перпендикулярна площині падіння світла; I_2 – кількість енергії світла, розсіяних світлових потоків при положенні зразка коли вісь орієнтації волокон паралельна площині падіння світла. Коефіцієнт паралелізації K дорівнює нулю, при повністю хаотичному розміщенню волокон і зростає при поступовій їх паралелізації.

Інший оптичний метод [23] також використовує явище розсіювання світла для визначення орієнтації волокон в зразку. В цьому методі використовується явище розсіювання світла під кутом до напрямку падаючого випромінювання. При нормальному падінні світла на волокно промені розсіюються в площині, що перпендикулярна осі волокна. Оптична система реєструє розсіяні промені, які складають визначений кут з напрямком падаючого випромінювання (в даній роботі – 30°). Чим більша кількість волокон у зразку буде перпендикулярна падаючому променю при даному куті падіння, тим більшу інтенсивність випромінювання зареєструє приймач.

Зазначені оптичні методи достатньо прості, мають невелику трудомісткість, однак залежність величин показників, які характеризують орієнтацію волокон, залежить від стану поверхні волокон зразка, що ускладнює інтерпретацію результатів або вимагає проведення досить трудомісткого градування для кожного виду волокон. Враховуючи залежність показників від товщини зразка, оптичні методи рекомендується для достатньо товстих [20] або ж навпаки достатньо тонких зразків [19], що обмежує можливості їх використання. До того ці методи дозволяють визначати паралелізацію, розпрямленість та орієнтацію волокон тільки поверхневих шарів зразка і не можуть визначати його внутрішню структуру.

В капілярних методах дослідження ступеня розпрямленості волокон у волокнистих продуктах полягає у визначенні істинної рухливості барвника при прямолінійному русі його в капілярі [1]. На зразок волокнистого продукту наносять мітки барвника (чорнило, туш, бензин) та одночасно приєднують два електроди, які перебувають під постійною напругою джерела постійного струму, що фіксується вольтметром. За час спостереження смуга барвника переміщується у зразку на деяку видиму відстань. Визначення ступеня розпрямленості волокон у зразках зводиться до визначення довжини переміщення мітки за визначений час.

Існує також інший варіант капілярних методів, де використовується рух розчину в капілярах зразка волокнистого продукту для визначення розпрямленості волокон [1]. Цей спосіб полягає у наступному: випробований зразок визначеної довжини зважують і визначають масу сухого зразка. Потім змочують буферним розчином, видаляють зайву вологу і визначають масу вологого зразка. Об'єм буфера V , що знаходиться в капілярах зразка, визначають за різницею мас сухого і вологого зразка. Вологий зразок закріплюють на діелектричній пластині в горизонтальному положенні. Одночасно до зразка приєднують два електроди, пропускають електричний струм і вимірюють опір R зразка. Ступінь розпрямленості r волокон оцінюють за виміром об'єму буферного розчину в капілярах зразка і його електричного опору.

$$r = \frac{l^2}{\sqrt{R \cdot x \cdot V}} \quad (8)$$

де R – електричний опір зразка, Ом; x – електропровідність буферного розчину, 1 /Ом; V – об'єм буферного розчину у капілярах зразка, м³.

Розглянуті капілярні методи дуже трудомісткі і мають невисокий ступінь точності виміру точки положення барвника в капілярах досліджуваного волокнистого зразка, що спотворює значення досліджуваних показників.

Основною перевагою опосередкованих методів дослідження структури зразків волокнистих продуктів є значне зниження трудомісткості, у порівнянні з прямими методами. Проте недоліком цих методів дослідження є те, що вони не надають повної інформації про розташування та форму волокон у

структурі зразку. Ці методи призначені для отримання порівняльних, відносних характеристик структури волокнистих продуктів, які залежать не лише від розпрямленості та орієнтації волокон, а й від ряду побічних чинників. Наприклад, визначення коефіцієнта паралелізації волокон згідно з оптичним методом [19] залежить від товщини, форми поверхні зразка, кольору, блиску, звивистості волокон в ньому. Це значно обмежує область використання опосередкованих методів та вимагає детального їх доопрацювання. До того ж, більшість опосередкованих методів дослідження не можуть бути використанні в умовах виробництва і лише [19, 21] не виключають можливість такого використання.

Виходячи із проведеного аналізу прямих і опосередкованих методів визначення структурних особливостей розташування волокон в волокнистих продуктах прядильного виробництва, можна зробити висновок, що вони не знайшли широкого застосування через велику трудомісткість, складність використання та недостатньо точне визначення даних.

Вищенаведений аналіз прямих і опосередкованих методів оцінки структури волокнистих продуктів показав, що не існує єдиних уніфікованих показників їх структури. Для характеристики розміщення волокон в різних роботах були введені різні величини: коефіцієнт розпрямленості, кут орієнтації, коефіцієнт орієнтації, коефіцієнт відносної паралелізації, коефіцієнт протяжності, наявність зігнутих кінчиків тощо. Часто в роботах використовуються показники, які близькі за сутністю проте відрізняються за назвою. Наприклад, в деяких літературних джерелах [20-22] часто зустрічається термін «паралелізація», з близьким фізичним змістом терміну «орієнтація». Поняття «паралелізація» характеризує певний ступінь впорядкованості волокон один відносно одного, тоді як «орієнтація» характеризується мірою впорядкованості волокон щодо осі волокнистого продукту. У волокнистому продукті в якому волокна розташовані хаотично, проте вже спостерігається переважна орієнтація волокон у напрямку осі продукту визначати паралелізацію не має сенсу, хоча визначення показника орієнтації є доцільним. Термін «паралелізація» є вужчим ніж термін «орієнтація» і тому доцільніше застосовувати термін «орієнтація».

Також в літературі зустрічається термін «протяжність», що має подібну сутність з терміном «розпрямленість». Обидва показники характеризують форму і стан волокна у волокнистому продукті, наявність заломлених кінчиків або звивистості. Тому можна сказати, що термін «протяжність» є лише аналогом терміну «розпрямленості».

Найбільш доцільним є визначення комплексних показників оцінки структури волокнистих продуктів, які характеризують одночасно і ступінь впорядкованості волокон відносно осі волокнистого продукту так і їх форму.

Враховуючи аналіз наведених вище методів нами запропоновано новий опосередкований експресний резонансний метод, що відноситься до групи електрохвильових методів та пристрій для визначення комплексного коефіцієнта розпрямленості та орієнтації волокон у волокнистих продуктах [24-26]. Згідно цього методу визначення структури волокнистого продукту може здійснюватись на основі оцінки зміни резонансної частоти електромагнітної хвилі та добротності резонатора при її проходженні крізь зразок волокнистого продукту вздовж та перпендикулярно його осі. Волокнистий зразок закріплюють на рамці з попереднім навантаженням для його часткової орієнтації. Рамку з зразком розміщують між двома резонаторами, в яких збуджуються надвисокочастотні коливання. Один з цих резонаторів є опорним, об'єм другого контактує з зразком. Величина зміни резонансної частоти або добротності резонатора, який контактує з зразком визначається шляхом порівняння з резонансною частотою та добротністю опорного резонатора. Діелектричні параметри зразка є не однаковими в різних напрямках і залежать від розміщення волокон в ньому, тому волокнистий зразок розміщують спочатку вздовж резонатора, що контактує з ним а потім під кутом 90°. Комплексний показник розпрямленості і орієнтації волокон у зразку визначають за формулами:

$$\eta_f = 1 - \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} \quad (9)$$

$$\eta_Q = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} \quad (10)$$

де f_1 та Q_1 – резонансна частота і добротність резонатора під час контакту з волокнистим зразком вздовж його осі; f_2 та Q_2 – відповідні параметри резонатора, що перебуває в контакті з волокнистим зразком перпендикулярно його осі.

Висновки:

1. Прямі методи визначення показників структури волокнистих продуктів є найбільш трудомісткими і тому не можуть бути використані для експресного оцінювання їх структури в умовах виробництва.

2. Опосередковані методи визначення показників структури волокнистих продуктів є недостатньо точні та залежать від багатьох різних побічних факторів, що обмежує область їхнього використання в умовах виробництва.

3. Запропоновано експресний резонансний метод оцінки структури волокнистих продуктів, який базується на оцінці зміни частоти електромагнітної хвилі при її проходженні крізь волокнистий продукт.

4. Для характеристики структури волокнистих продуктів доцільно застосовувати комплексний

Література

1. Корнюхин И.П. Методы рассеивания света в исследованиях волокнистых структур / И.П. Корнюхин, Т.А. Корнюхина. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006. – 208 с.
2. Кострицкий В.В. Класифікація методів оцінки структурних показників волокнистих продуктів / В.В. Кострицкий, А.М. Слізков // Вісник КНУТД. – 2010. – № 6. С. 97– 102.
3. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности: Учебник для вузов текстил. пром-ти. / А.Г. Севостьянов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 392 с.
4. Жуков В. Н. Расположение волокон в ленте / В.Н. Жуков // Бюллетень ИвНИТИ. 1937. – № 11–12. – С.67–69.
5. Будников В.И. О расположении волокон в волокнистых продуктах / В.И. Будников // Сб. Научно-исследовательских работ Ташкентского текстильного института. – Ташкент, 1953. – С. 278– 281
6. Севостьянов А.Г. Применение радиоактивных излучений для контроля, регулирования и исследования в прядильном производстве / А.Г. Севостьянов. – М.: Гизлегпром, 1958. – 59 с.
7. Hummel G. Messverfahren zur Ermittlung der Langenänderung von Textilfasern. Textil-Praxis // Textil-Praxis. 1952-N 10, 813-821.
8. Morton W.E., Yen K.C. Fiber Arrangement in Cotton Sliver and Laps // Journal Textile Institute. 1952, V. 43, N 9, -p. T463-T477.
9. Ковачева М. В. Метод определения расположения отдельных волокон в прочесе и в мычке / М. В. Ковачева, Ю. Н. Воложенинов, В. П. Радовицкий. // Текстильная промышленность. – 1966. – № 12. – С. 29-30.
10. Протасова В.А. Определение распрямленности волокон методом радиографии / В.А. Протасова. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1960. – № 4. – С. 69.
11. Taylor D. S. An investigation of fiber geometry in card webs // Journal Textile Institute. – 1956, – V. 47, N 3. – P. T141– 147.
12. Л.Я. Лысенко, З.И.Крейцберг. Применение радиоактивных изотопов для определения распрямленности и параллелизации волокон тонкой шерсти // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1961. – № 6. – С. 62.
13. Ангаров Э.И. Исследование продуктов хлопкопрядения методом автордиографии / Э.И. Ангаров и др. // Текстильная промышленность. 1973. – № 5. – С. 73.
14. Lindsley C. H. Measurement of fiber orientation // Textile Research Journal. – 1951. – V. 21, N 1. – P.279– 282.
15. Леонтьева И.С. К вопросу распрямления волокон в процессе подготовки полуфабриката / И.С. Леонтьева. // Текстильная промышленность. – 1963. – № 2. – С. 34.
16. Будников В. И. Взаимосвязь показателей продольной ориентации волокон по Линдслею и Леонтьевой / В. И. Будников // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1966. – № 4. – С. 59-60.
17. Жоховский В.В. Прибор для определения распрямленности волокон в ленте и ровнице / В.В. Жоховский // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1960. – № 2. – С. 46.
18. Uno M. Of fiber an investigation geometry in card webs // Journal Tex tile Machinery Society Japan. – 1964. – V. 10, N 1. – P.257– 263.
19. Пат. 2509068 США, МПК G 01 N 33/36. / MacMahon W., № 2509068 – 1950.
20. Яковлев В.В. Исследование оптического метода определения степени параллелизации волокон / В. В. Яковлев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1967. – № 1. – С. 56– 63.
21. Яковлев В.В. Об оптическом методе определения степени параллелизации волокон / В. В. Яковлев. // Текстильная промышленность. – 1967. – № 3. – С. 47– 49.
22. Яковлев В.В. Прибор для измерения коэффициента параллелизации волокон в полуфабрикатах / В. В. Яковлев. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1966. – № 1. – С. 170– 173.
23. Orchard G.A. J. The method of fiber orientation in card webs // Journal of textile institute. – 1953. – V. 3, N. 44. – P.380– 385.
24. Слізков А. М. Теоретичні основи побудови фізичної моделі електромагнітного резонатора для оцінки структури стрічкоподібних волокнистих продуктів / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, А. О. Потапенко // Вісник КНУТД. – 2008. – № 2. – С. 24– 29.
25. Патент на корисну модель № 37282, Резонансний пристрій для визначення властивостей текстильних матеріалів / Потапов А.О., Слізков А.М., Щербань В.Ю., Краснитський М.С., зареєстровано 25.11.2008. Бюл.№ 22. 2008.
26. Патент на корисну модель № 46827, Спосіб визначення структурних характеристик текстильних матеріалів / Скрипник Ю.О., Шевченко К.Л., Слізков А.М., зареєстровано 11.01.2010. Бюл.№ 1.2010.

Надійшла 28.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Супрун Н.П.

М.СТ. МАЛЬОВАНІЙ

Національний університет «Львівська політехніка»

Г.В. САКАЛОВА

Вінницький державний педагогічний університет

Н.Ю. ЧОРНОМАЗ

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ОСАДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ СОРБЕНТІВ У ВОДІ ПІСЛЯ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ВІД ІОНІВ АМОНІЮ

Досліджено процеси сорбційного очищення води від амонійного забруднення. Охарактеризовано сорбційну здатність природного палигорськіту. На підставі проведених досліджень встановлена можливість вилучення відпрацьованого сорбенту із води.

Ключові слова: амонійне забруднення, палигорськіт, адсорбція.

Sorptive processes of water purification from ammonia pollution were investigated in this research. The sorption capacity of natural paligorskit were characterized. On the basis of these studies established the possibility of removing the spent sorbent with water.

Keywords: ammonia pollution, paligorskit, sorption.

Постановка проблеми. Аналіз і порівняння з техніко-економічної точки зору відомих методів вилучення амонійного азоту з водних розчинів (віддування вільного аміаку, хлорування, озонування, переведення амонійного азоту до молекулярного азоту N_2 біологічним способом, видалення амонійного азоту методом іонного обміну) дозволяє констатувати, що одним із найефективніших є метод іонного обміну з використанням природних дисперсних сорбентів [2]. Очищення водних розчинів за допомогою дисперсних сорбентів відповідає багатьом вимогам екологічно чистого та енергоощадного виробництва, що базується на принципі безвідходності. Потужні геологічні запаси, дешеве видобування породи, проста підготовка до транспортування та використання, можливість використання відпрацьованих сорбентів в інших технологіях (завдяки чому відпадає потреба у дороговартісній регенерації) — основні переваги використання природних сорбентів [4,5].

Метою роботи є дослідження процесу адсорбції іонів амонію із питної води на природному дисперсному сорбенті палигорськіті, та осадження природних сорбентів у воді з метою вибору оптимальний метод відділення відпрацьованого сорбенту

Матеріал та результати досліджень. Для проведення оцінки кількості адсорбованої речовини та встановлення механізму сорбції іонів амонію різними типами водорозчинних солей проводились дослідження за такою методикою: приготувавши заздалегідь розчин амонійної солі заливався у герметичну ємність, куди досипався досліджуваній сорбент. Суміш періодично перемішувалась механічним способом. Час настоювання вибирався завідомо достатньо великим з тим, щоб гарантовано досягався стан рівноваги. Після закінчення часу настоювання відбиралась проба, яка аналізувалась на вміст аніону та катіону амонійної солі. Для досліджень використовувались солі карбонату амонію та хлориду амонію. Значення початкової концентрації солей, яке для кожної серії досліджень було однакове, вказане в табл. 1. Об'єм розчину в кожному досліді складав 150 см^3 , температура — 20°C , маса адсорбенту — 30 г. Час настоювання кожної модельної суміші складав 8 діб. Результати експериментів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати досліджень процесу сорбції солей амонію природними дисперсними сорбентами

Система		Концентрація, мг/дм ³			
		$(\text{NH}_4)_2(\text{CO}_3)$		NH_4Cl	
		NH_4^+	CO_3^{2-}	NH_4^+	Cl^-
1.	Вихідний розчин	70	115	70	138,7
2.	Кінцевий розчин + палигорськіт	1,15	102,6	1,15	139
3.	Кінцевий розчин + глауконіт	36	96,3	4,6	138,9
4.	Кінцевий розчин + цеоліт	0,54	103,4	відс.	138,9

Як видно із табл. 1, у випадку адсорбції із розчину солей сильних кислот (NH_4Cl), концентрація іону хлору в розчині не змінюється, що, мабуть, пов'язано з практично повною дисоціацією солі у воді і проходженням сорбції за механізмом іонного обміну. Тому очевидно, що в цьому випадку процес відбувається за механізмом хемосорбції (іонного обміну). У випадку ж адсорбції природними сорбентами із розчину солей, утворених слабкими кислотами, як видно із табл. 1, у процесі адсорбції спостерігається і зменшення вмісту іонів CO_3^{2-} в розчині, що може свідчити про часткову фізичну сорбцію недисоційованих молекул сорбентом.

Очищення води від твердих домішок на практиці реалізується методами фільтрування та

осадженням під дією відцентрових сил або сили земного тяжіння. Фільтрування, як стадія підготовки води, була відкинута нами в процесі вибору методу обробки. Осадження в полі відцентрових сил вимагає значних витрат енергії. Тому на нашу думку оптимальним методом відділення відпрацьованого сорбенту є розділення під дією сили тяжіння.

Природні сорбенти володіють розвинутою пористою структурою, що проявляється у значній розбіжності у густині різних частинок. В зв'язку з цим оцінити кінетику процесу найбільш точно можна лише за допомогою експериментальних досліджень. Результати експериментальних досліджень кінетики осадження сорбентів у воді в умовах різного початкового вмісту їх у воді представлені у виді графічних залежностей концентрації сорбенту у воді від часу процесу (рис.1- рис.3). Сорбент, який використовується для очищення води, є полідисперсним матеріалом, що обумовлює характер представлених графічних залежностей.

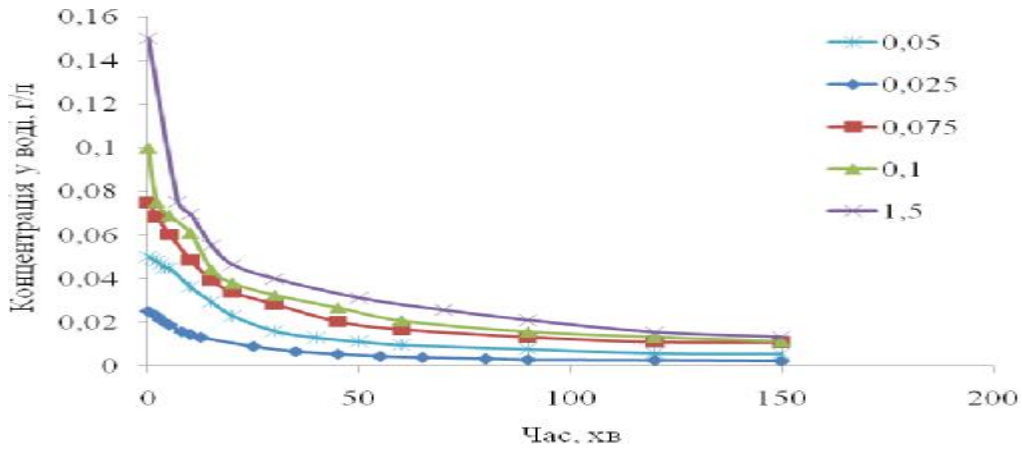


Рис.1. Кінетика осадження глауконіту за різної початкової концентрації сорбенту у воді, г/л.

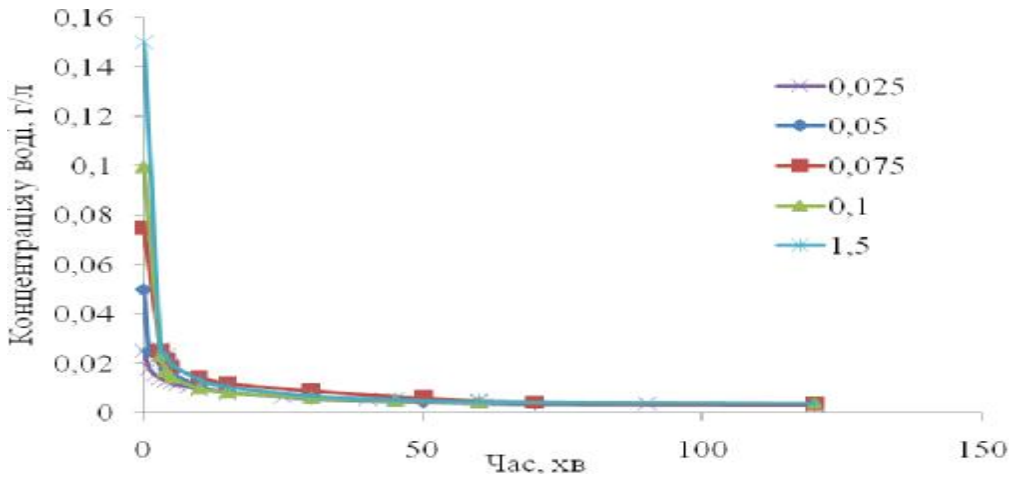


Рис.2. Кінетика осадження палигорськїту за різної початкової концентрації сорбенту у воді, г/л

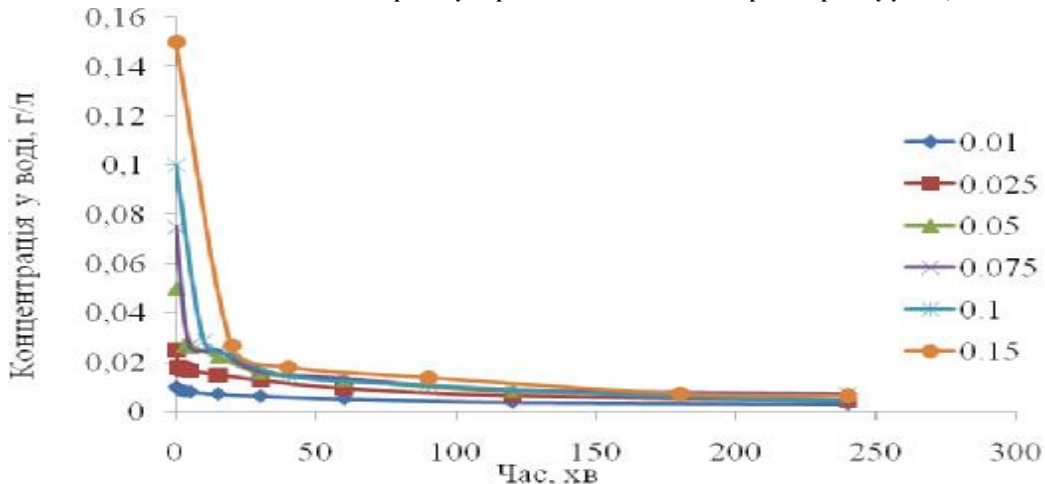


Рис.3. Кінетика осадження целюліту за різної початкової концентрації сорбенту у воді, г/л

В початковий момент часу проходить інтенсивне осадження частинок крупних фракцій. Цей період відповідає стрімкому зниженню концентрації сорбенту у воді. Далі інтенсивність очищення знижується і визначається швидкістю осадження частинок найдрібнішої фракції. Для реалізації практичних задач очищення води від завислих речовин важливим є визначення швидкості осадження частинок сорбенту. У випадку полідисперсної суміші експериментально визначали середню швидкість осадження (u_{cp}) та кількість осаду, що випав (p), а середню швидкість осадження можна визначити за рівнянням:

$$u_{cp} = \frac{p \cdot h}{T}, \quad (1)$$

де h – висота осідання частинок, м;
 T – час осідання, с.

Таблиця 2

Результати розрахунків фіктивної швидкості осадження сорбентів у воді			
Сорбент	p	u_{cp} , м/с	$u_{ф}$, м/с
Глауконіт	0,35	$4,86 \cdot 10^{-5}$	$1,39 \cdot 10^{-4}$
Палигорськіт	0,31	$4,69 \cdot 10^{-5}$	$1,52 \cdot 10^{-4}$
Цеоліт	0,43	$3,41 \cdot 10^{-5}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$

Як свідчать експериментальні дані, лімітуючою стадією процесу очищення є осідання найдрібніших фракцій, тому оцінку швидкості проводили саме для цього періоду (табл.2).

В технологіях водопідготовки обов'язково є стадія бактеріального її знезараження. Результати багатьох досліджень свідчать про ефективність застосування ультразвуку (УЗ) для знезараження води. Виходячи з цього актуальним стало дослідження впливу ультразвукової обробки води на перебіг процесу седиментації. З цією метою проводили УЗ обробку води після осадження крупних фракцій, коли очищення від завислих частинок набувало лінійної залежності від часу. Тривалість обробки складала 5 хв. Результати експериментальних досліджень представлені на рис. 4 – 6.

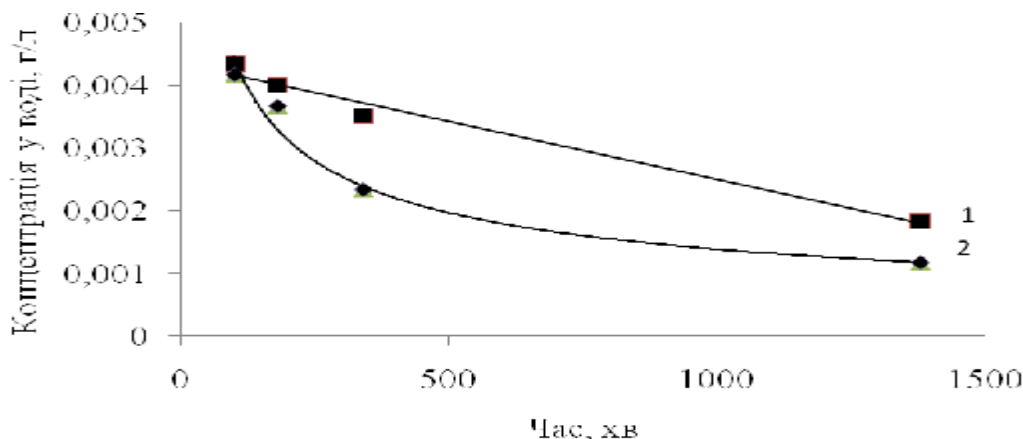


Рис. 4. Порівняння кінетики осадження глауконіту після обробки ультразвуком: 1-контрольний, 2-обробка УЗ

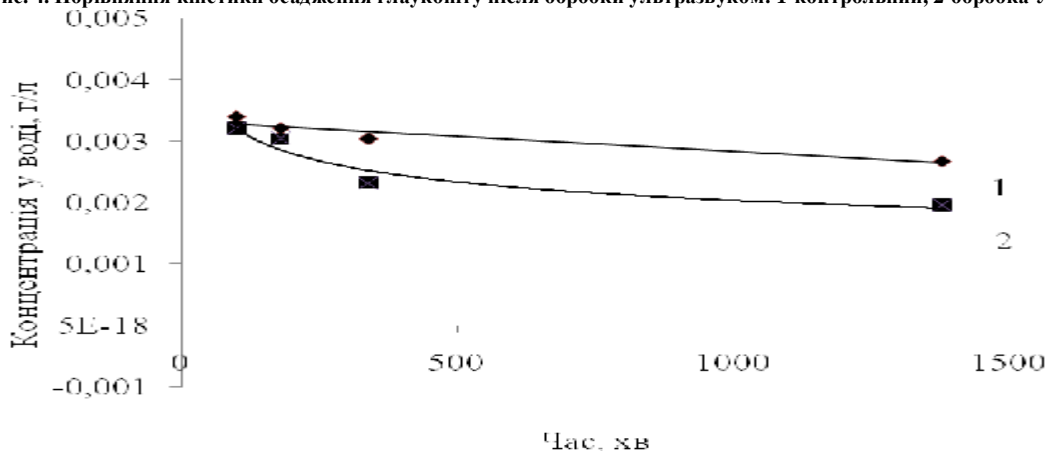


Рис. 5. Порівняння кінетики осадження палигорськіту після обробки ультразвуком: 1-контрольний, 2-обробка УЗ

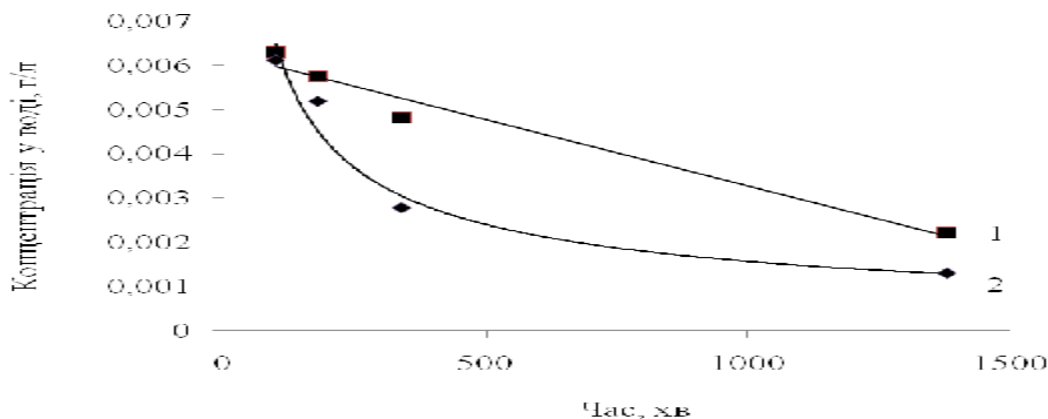


Рис. 6. Порівняння кінетики осадження целіту після обробки ультразвуком: 1-контрольний, 2-обробка УЗ

Порівнюючи кінетику осадження частинок сорбентів у контрольному досліді та після УЗ обробки можна зробити висновок про збільшення швидкості осідання на невеликому проміжку часу безпосередньо після обробки. Далі процес йде таким же чином, як і без УЗ обробки. Отже УЗ знезараження води доцільно суміщати із стадією седиментації, що дозволить інтенсифікувати процес осадження. Тривалість УЗ - обробки визначається бактеріологічними показниками води.

Висновки. На основі аналізу проведених досліджень вибраний оптимальний метод відділення відпрацьованого сорбенту - розділення суспензії очищена питна вода - відпрацьований сорбент під дією сили тяжіння.

Порівняння отриманої експериментально кінетики осадження частинок сорбентів у контрольному досліді та після УЗ обробки дозволяє зробити висновок про прискорення швидкості осідання на невеликому проміжку часу безпосередньо після обробки. Далі процес йде таким же чином, як і без УЗ обробки. Тому застосовувати ультразвук для самостійної інтенсифікації процесів осадження частинок сорбентів у воді є недоцільним через зростання енергетичних затрат.

Література

1. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води/ Запольський А.К. — К. : Вища школа, 2005.— 671 с.
2. Очистка сточных вод предприятий химико-фармацевтической промышленности / [Яковлев С.В., Карюхина Т.А., Рыбаков С.А. и др.]. —М.: Стройиздат, 1985. — 250 с.
3. Мочалов И.П. Очистка и обеззараживание сточных вод малонаселенных мест / Мочалов И.П., Родзиллер И.Д., Жук Е.Г. —Л.: Стройиздат, 1991. —160 с.
4. Тарасевич Ю.И. Адсорбция на глинистых минералах / Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. — К.: Наукова думка, 1975. — 351 с.
5. Стокалюк О. Очищення стічних вод від органічних розчинників з використанням процесів адсорбції на природних дисперсних сорбентах та хроматографії /Стокалюк О., Мальований М., Петрушка І., Стойко О., Одноріг З. // Праці НТШ, т. 1, Косів-2005. - С. 239-243.
6. Петрусь Р. Технології очищення стоків із застосуванням природних дисперсних сорбентів /Петрусь Р., Мальований М., Варчол Й., Одноріг З., Петрушка І., Леськів Г. //Хімічна промисловість України, №2 (55), 2003 – С.20-22.

Надійшла 19.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Крикливий Д.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ КУПРУМУ (II) З ВОДИ ГЛИНАМИ ЧЕРКАСЬКОГО РОДОВИЩА

Досліджено процеси сорбційного очищення стічної води від іонів купруму (II). Експериментально досліджено процес адсорбції іонів купруму з стічних вод природними мінеральними сорбентами в статичних умовах. Встановлена залежність між кількістю адсорбенту та залишковою концентрацією іонів купруму в стоках.

Ключові слова: сорбційне очищення води, глинисті сорбенти.

Sorptive processes of water purification from pollution of cuprum (II) ions were investigated in this research. The adsorption process of cuprum ions from drain water by mean of natural mineral sorbent (in static condition) was investigated. The dependence between the adsorbent quantity and residual concentration of cuprum ions in the gutter was established.

Keywords: water sorption, clay sorbents.

Постановка проблеми. Присутність у воді іонів важких металів, таких як мідь, свинець, залізо, нікель, цинк, є серйозною проблемою для навколишнього середовища через їх високу токсичність, а також через нездатність розкладу їх мікроорганізмами. Основними джерелами забруднення водних ресурсів такими металами є підприємства чорної і кольорової металургії, машинобудування.

Забруднення стічних та поверхневих вод іонами важких металів залишається серйозною екологічною проблемою, яка не має на сьогоднішній день достатньо ефективного вирішення.

У природі існують безпечні можливості очищення води з вирівнюванням у ній сольового балансу в процесі проходження води через наземні та підземні горизонти мінералів, що мають значну адсорбційну ємність щодо іонів важких металів (глини, алюмосилікати, цеоліти тощо). Природою створенні безпечні методи очищення води, що полягають в адсорбції антропогенних забруднювачів в процесі проходження води через горизонти мінералів (глин, силікатів та алюмосилікатів, цеолітів тощо) і дозволяють зберегти її структуру та мінералізацію. Такий механізм працював та забезпечував рівновагу між геосферами планети протягом усього їхнього існування. Відповідно, його розумне використання повинно лягти в основу найсучасніших технологій очищення водних ресурсів [1, 2].

Додавання глинистих мінералів-адсорбентів в процесі очищення стічних та забруднених природних вод на стадії відстоювання не тільки дозволить позбавитись небезпечних антропогенних забруднюючих домішок шляхом адсорбції без хімічних реактивів, а й покращити структуру та мінералізацію води [3]. Загально відомий інтерес науковців до адсорбційних та іонообмінних властивостей бентонітових глин. Перевагами застосування цих адсорбційних матеріалів є наступні:

1. Природні сорбенти широко розповсюджені в Україні.
2. Природні сорбенти є доступним, недорогим матеріалом.
3. Адсорбційні технології з використанням природних дисперсних сорбентів забезпечують високий ступінь очищення.

4. Відпрацьований природний адсорбент необхідно утилізувати шляхом застосування в технологіях отримання інших продуктів, він не потребує регенерації.

Адсорбційні властивості глин Дашуківського родовища та можливості їх практичного використання досліджено ще недостатньо, особливо для очищення води у промислових масштабах.

Тому проблема ефективного вилучення іонів важких металів з природних водойм залишається важливою і потребує пошуку та застосування речовин, які б володіли адсорбційними властивостями щодо іонів металів.

Робота присвячена розробленню наукових основ технології очищення стічних вод різних промислових виробництв від іонів купруму (II) шляхом адсорбції цих забруднювачів глинами 2 та 3 горизонту палигорськіту Черкаського родовища у статичних умовах.

Мінеральний склад продуктивної товщі глин Черкаського родовища, який використовувався для експериментів, наступний: другий горизонт представлений, в основному, монтморилонітом (70– 95 %) та домішками високодисперсних кальциту та кварцу; третій горизонт утворений палигорськітом (85– 97 %) та домішками кальциту, кварцу, гідроксидів марганцю [1].

Результати досліджень. Експериментальна частина роботи полягала у визначенні залишкової концентрації іонів купруму (II) у пробах зі стічною водою в статичних умовах, а саме: в процесі поглинання іонів важкого металу різних концентрацій однаковим шаром адсорбенту і в процесі поглинання однакових концентрацій іонів купруму (II) різними за товщиною шарами адсорбенту.

Для проведення експерименту використовували вихідні розчини купрум (II) сульфату, які готували шляхом розчинення у дистильованій воді відповідних наважок марки “х. ч.”. Точне значення концентрації іонів металу в таких розчинах встановлювали йодометричним методом. Концентрація вихідних розчинів купрум (II) сульфату становила 1г/л.

Повноту вилучення бентонітовою глиною іонів купруму досліджували в статичному режимі, щоб

зрозуміти можливості використання цього природного адсорбенту для очищення води на стадії відстоювання. Для цього різні наважки бентонітової глини (10 г, 20 г, 30 г, 40 г, 40 г) поміщали в конічні колби, що містили 100 мл розчину купрум (II) сульфату з концентрацією 1г/л, і залишали на 1, 2 та 24 год (табл. 1).

Як свідчать результати експерименту, незалежно від кількості адсорбенту максимальне поглинання досягається за 24 години. Для великих кількостей адсорбенту (30– 50 г) максимальне поглинання відбувається впродовж першої години; для менших кількостях адсорбенту (до 20 г включно) процес адсорбції проходить більш рівномірно за часом. Причому залежність між кількістю адсорбенту і залишковою концентрацією іонів важкого металу у стоках прямо пропорційна: чим більша кількість адсорбенту, тим швидше відбувається поглинання іонів міді. Це можна пояснити тим, що зі збільшенням маси дозованого сорбенту зростає площа поверхні контакту між частинками глини й іонами купруму (II), а отже зростає кількість поглинених іонів важкого металу. Для бентонітових глин 2 горизонту аналогічна залежність зберігається.

Також було визначено залишкову концентрацію іонів купруму (II) від різної концентрації вихідних розчинів за сталої кількості сорбенту. На рисунку 1 представлені залежності у випадку використання сорбенту бентонітової глини другого горизонту.

Як свідчать результати експерименту, незалежно від часу, максимальне поглинання досягається при найменшій концентрації іонів купруму (II) у вихідних розчинах (250 мг/л) і ступінь вилучення іонів купруму (II) становить 98,47 %.

Таблиця 1

Значення залишкової концентрації та ступенів адсорбції іонів купруму (II) залежно від товщини шару сорбенту

(Умови досліді: початкова концентрація іонів купруму (II) у розчині – 1000 мг/л, температура – 18°C)

	наважка сорбенту, г									
	10		20		30		40		50	
Бентонітова глина другого продуктивного шару, прошарок II-3										
Час, год	$C_{Cu^{2+}}$, мг/л	ϵ , %	$C_{Cu^{2+}}$, мг/л	ϵ , %	$C_{Cu^{2+}}$, мг/л	ϵ , %	$C_{Cu^{2+}}$, мг/л	ϵ , %	$C_{Cu^{2+}}$, мг/л	ϵ , %
1	737,18	26,28	699,05	30,10	622,79	37,73	432,14	56,79	368,59	63,14
2	686,34	31,37	635,5	36,45	546,53	45,35	381,3	61,87	292,33	70,77
24	584,66	41,53	444,85	55,52	381,3	61,87	266,91	73,91	203,36	79,66
Бентонітова глина другого продуктивного шару, прошарок II-б										
1	711,76	28,82	648,21	35,18	571,95	42,81	457,56	54,24	317,75	68,23
2	635,5	36,45	584,66	41,53	508,4	49,16	394,01	60,60	254,2	74,58
24	457,56	54,24	368,59	63,14	279,62	72,01	228,78	77,27	152,52	84,75
Бентонітова глина третього продуктивного шару										
1	762,6	23,74	711,76	28,82	635,5	36,45	571,95	42,81	508,4	49,16
2	686,34	31,57	648,21	35,18	533,82	46,62	470,27	52,97	381,3	61,87
24	495,69	50,43	419,43	58,06	317,75	68,23	292,33	70,77	254,2	74,58

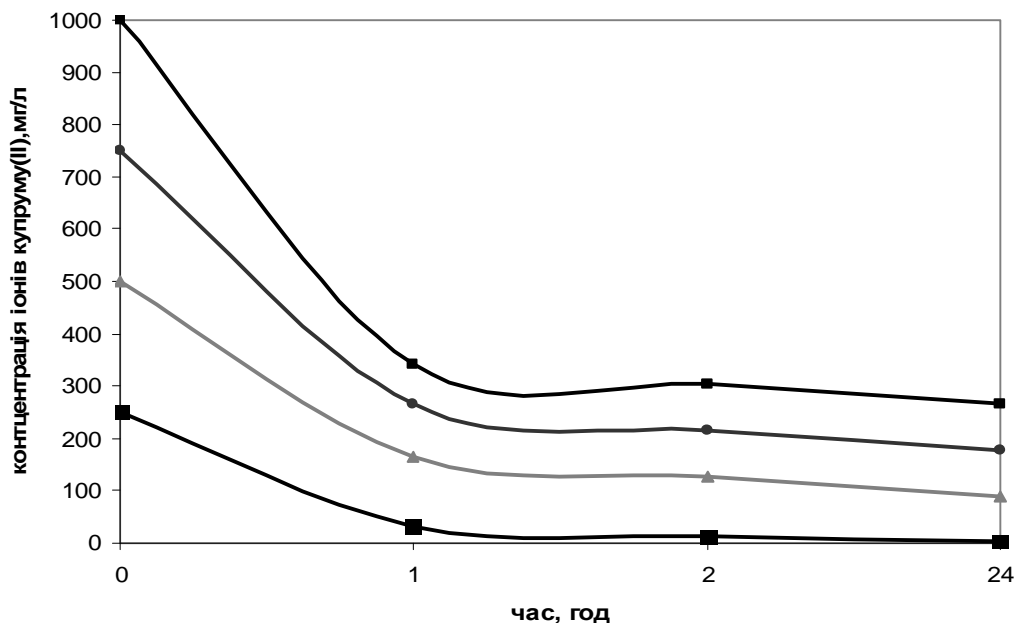


Рис. 1. Зміна залишкової концентрації іонів купруму (II) у пробах від початкової концентрації вихідного розчину (маса сорбенту 10 г, об'єм кожного розчину 50 мл)

Далі було визначено залишкову концентрацію та ступінь адсорбції іонів купруму (II) у випадку, якщо на однакових шарах адсорбенту (бентонітова глина другого продуктивного шару, прошарок II-3, 10 г) поглинається стічна вода з однаковою концентрацією іонів важких металів (1000 мг/л) при температурах 18⁰С, 40⁰С та 60⁰С в статичних умовах. За наведеним вище формулами було обраховано числові значення концентрацій і ступені адсорбції. Результати наведених обчислень наведені в табл. 2.

На підставі наведених нижче даних можна вважати оптимальною температурою стічних вод температуру від 18⁰С до 60⁰С, оскільки за таких температур максимальне поглинання відбувається впродовж першої години. За температури нижче 18⁰С або вище 60⁰С, процес адсорбції відбуватиметься повільніше і нерівномірно.

Таблиця 2

Значення залишкової концентрації та ступеня адсорбції іонів купруму (II) залежно від температури на бентонітовій глині другого продуктивного шару прошарку II-3

	Температура t, ⁰ С					
	18		40		60	
Час, год	$C_{Cu^{2+}}$, мг/л	ϵ , %	$C_{Cu^{2+}}$, мг/л	ϵ , %	$C_{Cu^{2+}}$, мг/л	ϵ , %
0,5	711,76	28,82	686,34	31,37	584,66	41,53
1	737,18	26,28	559,24	44,08	508,40	49,16

(Умови досліджу: маса сорбенту – 10 г, початкова концентрація іонів купруму (II) у розчині – 1000 мг/л)

Будь-який технологічний процес може протікати лише в певному технологічному режимі, який визначається сукупністю основних параметрів [4]. Вони впливають на швидкість процесу, вихід і якість готового продукту та інші показники. Кожному технологічному процесу властиві свої параметри. Для хіміко-технологічних процесів це температура, тиск, концентрація реагуючих речовин, каталізатор і його активність, спосіб і ступінь перемішування реагентів та ін. Проведені дослідження дозволяють встановити оптимальну кількість дозованого сорбенту, умови його дозування та температурний режим процесу.

Висновки. Перспективність та ефективність застосування природних мінеральних сорбентів, зокрема бентоніту, для очищення стічних вод підтверджується його перевагами перед іншими сорбентами, а саме: вони виграють у доступності, собівартості, в можливості регенерації та багаторазового використання. Проведені дослідження підтвердили доцільність застосування бентонітової глини різних шарів для очищення стічних вод від іонів купруму (II).

Залежність ступеня адсорбції від кількості адсорбенту прямо пропорційна, тобто чим більше адсорбенту, тим швидше поглинаються іони купруму (II) зі стічних вод. Експериментально доведено, що поглинання іонів купруму глинами Черкаського родовища залежить від природи сорбенту і його кількості: зі збільшенням товщини шару глини кількість поглинутих іонів важких металів зростає.

За тривалості процесу 24 год максимальне поглинання іонів важких металів досягається за найменшої концентрації (250 мг/л) і ступінь вилучення іонів купруму (II) становить 98,47 %.

Встановлений температурний інтервал від 18⁰С до 60⁰С можна вважати оптимальним для проходження процесу адсорбції іонів купруму (II) зі стічних вод на бентонітових глинах.

Література

1. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод / Александр Маркович Когановский. – К. : Наук. думка, 1983. – 239 с.
2. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / Анатолій Кирилович Запольський. – К. : Ліра, 2000. – 552 с.
3. Яновська Е. С. Наукові основи безвідходної технології доочищення промислових стічних вод від сумішей іонів важких металів / Е. С. Яновська, І. В. Затовський, М. С. Слободяник // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 5. – С. 50–54.
4. Петрусь Р. Технології очищення стоків із застосуванням природних дисперсних сорбентів / Р. Петрусь, М. Мальований, Й. Варчол, З. Одноріг, І. Петрушка, Г. Леськів // Хімічна промисловість України. – 2003. – № 2 (55). – С. 20–22.

Надійшла 12.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Крикливий Д.І.

ПРОЦЕСИ ВЗАЄМОДІЇ НА МЕЖІ КОНТАКТУ СИЛІЦІЙОРГАНІЧНИЙ ПОЛІМЕР – КЕРАМІКА

Наведено результати досліджень процесу взаємодії силіційорганічного гідрофобізатора з поверхнею керамічних матеріалів.

Ключові слова: гідрофобізатор, керамічні матеріали, цегла, мікроскоп, шліфи.

The results of the research process of interaction with the surface water repellents sylitsiyorhanichnoho ceramic materials.

Keywords: Water repellents, ceramic materials, brick, microscope, thin sections.

Постановка проблеми

Ринок будівельних матеріалів містить широкий вибір кераміки з різним ступенем спікання, що значною мірою впливає на довговічність споруд, які працюють в умовах підвищеної вологості, значних температур і корозійних середовищ. Підвищити термін експлуатації керамічних матеріалів можливо шляхом надання їх поверхні водовідштовхуючих властивостей. Найбільш перспективним шляхом вирішення цього завдання є захист поверхні захисними покриттями на основі силіційорганічних матеріалів, які створюють передумови формування адгезійного контакту на межі покриття – кераміка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В будівельній промисловості велике значення відіграє захист від вологості і води в цілому, тому що постійний її вплив знижує цілий перелік технічних характеристик виробів і в кінцевому результаті призводить до руйнувань [1].

Збільшення довговічності зведених споруд та зниження витрат на їх ремонтівання є однією з проблем, які виникають при житловому, культурно-побутовому та промисловому будівництві у країні. Такі матеріали, як гіпсокартон, бетон, штукатурка, будівельна кераміка (цегла, черепиця, облицювальна та тротуарна плитка), природні кам'яні матеріали (вапняки, доломіти тощо), насичуючись водою, збільшують свою вагу на 30 %, а то і більше [1].

Переважає більшість будівельних матеріалів і виробів (цегла, камінь, а також шви) усяні порами та капілярами, тому мають здатність втягувати воду в меншій мірі з повітря та в більшій мірі з ґрунтів. Через капіляри проникає вода, яка транспортується проти сили тяжіння, рухаючись вгору і в сторони. Висота підняття води, а в деяких випадках проникнення в середину стіни залежить від властивостей матеріалу [4].

З найрозповсюдженіших причин руйнування керамічних матеріалів є багаторазове замерзання та танення води, яка знаходиться у капілярах будівельного матеріалу [4]. Внаслідок здатності води збільшуватись в об'ємі при переході з рідкого в твердий стан руйнуються стінки капілярів, утворюються мікро тріщини і як наслідок – зовнішні шари будівельних виробів стають рихлими, втрачають міцність та морозостійкість. Відповідно, такі процеси прямо пропорційні показнику відкритої пористості [4].

Надмірне поглинання вологи стіною призводить до відшарування штукатурки, а завдяки транспортуванню водою солей на стінках з'являються висоли [4].

Не слід забувати про таке негативне явище, як суттєве підвищення теплопровідності у мокрих стінах, адже вода в 25, а лід у 100 разів краще проводить тепло, ніж повітря. Ось чому через насичення атмосферою вологою керамічні будівельні матеріали втрачають свої теплоізоляційні властивості [1].

Щоб уникнути усіх вищеперерахованих явищ слід використовувати захисні матеріали, які б мали гідрофобну дію, а отже захищали будівельні матеріали і вироби від проникнення вологи [2].

Аналіз відомих даних показує, що для покращення експлуатаційних властивостей будівельної поверхні кераміки, а саме збільшення морозостійкості, доцільно проводити фізико-хімічне модифікування поверхні органомісними сполуками поліфункціональної дії з метою зменшення відкритої пористості. При цьому забезпечується довговічність поверхні цегли в вологих умовах і при понижених і від'ємних температурах. Спрямований вибір вихідних компонентів захисних покриттів і надійність захисту є науковою основою для технології їх одержання. Суть створення таких покриттів полягає в розробці методів одержання композицій на основі силіційорганічних сполук і мінеральних наповнювачів (оксидних).

Для поверхневого захисту керамічних матеріалів розроблено склади гідрофобізаторів, які при затвердінні утворюють стійкі водовідштовхуючі покриття [1]. Перебіг процесу взаємодії на межі покриття – кераміка в умовах його формування пов'язують з особливостями будови самого покриття та будовою і структурою кераміки [2,3]. Питання впливу типу гідрофобізатора, його концентрації та структури будівельної кераміки, що впливає на процеси хімічної взаємодії, вивчено недостатньо.

Мета роботи полягає у вивченні впливу гідрофобізатора поверхні будівельних керамічних матеріалів на його водовідштовхуючі властивості.

Виклад основного матеріалу (експериментальна частина)

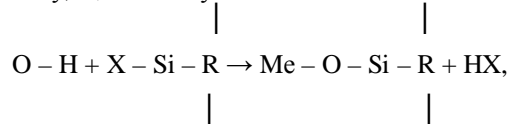
Дослідження проводили на керамічних матеріалах з відкритою пористістю 8 -14 %. Як

гідрофобізатор використовували силіційорганічні лаки КО – 921 і КО – 08.

У роботі використовували стандартні методи визначення водопоглинання і морозостійкості. Структуру виробу визначали за допомогою мікроскопічного аналізу.

Відомо, що стійкі гідрофобні покриття можуть утворювати лише силіційорганічні мономери та полімери, які мають біля атома кремнію реакційноздатні функціональні групи, які реагують з матеріалом поверхні.

У звичайних умовах поверхня силікатів гідратована і містить гідроксильні групи, валентно з'єднані з поверхневими атомами. При обробці силікатних матеріалів силіційорганічними сполуками, які містять біля атома силіцію реакційноздатні функціональні групи X, типу $RSiX_3$ ($RSiXO$)_n, R_2SiX_2 (де X – галоген, H, NHR, OH, OR, OCOR, NCO, NCS і інші), останні можуть взаємодіяти з поверхневими групами OH, утворюючи хімічно-фіксовану плівку, що можна уявити загальною схемою:



де Me = Si, Al, Mg, Ca та інші.

Утворення за поверхневого гідролізу силіційорганічних гідрофобізаторів типу $RSiX_3$ дисилоксанових – Si – O – Si – зв'язків приводить до зшивання молекул гідрофобізатора в суцільну силікоханову сітку, яка облягає всю поверхню обробленого матеріалу, який доступний гідрофобізуєчому розчину.

Під час оброблення звичайної і лицьової керамічної цегли силіційорганічними лаками КО – 921 і КО – 08 спостерігається значне зменшення водопоглинання, яке залежить від часу знаходження оброблювального матеріалу в гідрофобізаторі. Графік залежності водопоглинання від терміну оброблення подано на рис. 1.

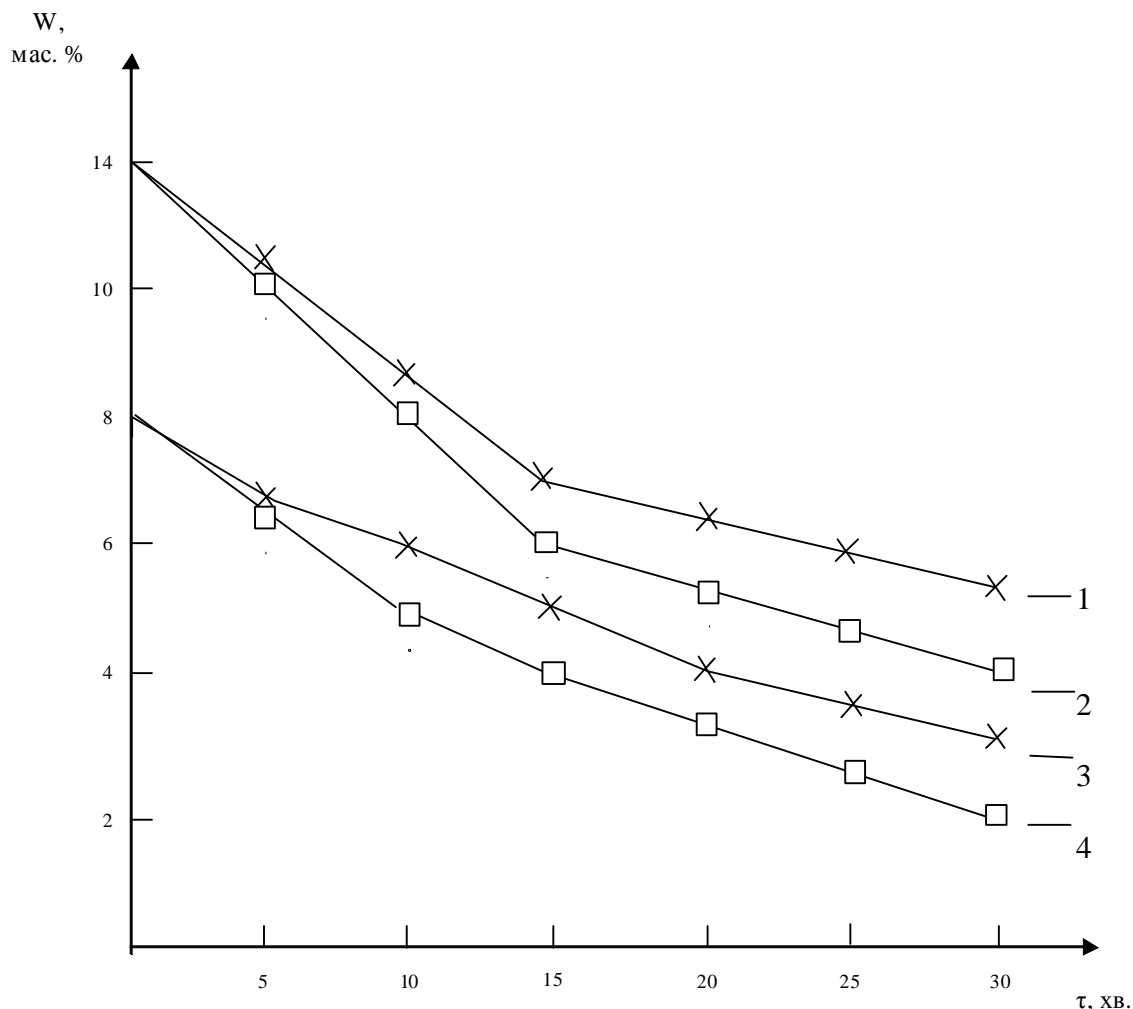


Рис. 1. Залежність водопоглинання від часу оброблення

X – ПМФС, □ – ПМФС модифікований сілазаном
1,2 – звичайна цегла; 3,4 – модифікована лицьова

Дані рис. 1 показують, що інтенсивна гідрофобізація поверхні виробу найбільш активно

відбувається перші 15 хв. (зменшення водопоглинання близько в 2 рази), а далі процес вирівнюється. Загальне зменшення водопоглинання відповідно до 5,2 і 2 мас. % повністю відповідає технічним вимогам.

При розбавленні розчинів гідрофобізатора практично ефективність його нанесення не змінюється. Нанесення покриття методом розпилення на лицьову поверхню збільшує ефективність його дії на 25 – 40 %.

Встановлення процесу взаємодії гідрофобізатора з поверхнею кераміки проводили на керамічних шліфах за допомогою мікроскопа „Neophot – 21” у відбитому світлі. Аналіз рис. 2 показує, що покриття формується на нерівномірній поверхні цегли, товщиною 100 – 120 мкм і повністю відтворює її рельєф, закриваючи повністю мілкі і частково крупні пори. Глибина проникнення гідрофобізатора в глибину кераміки становить 25 – 50 мкм.

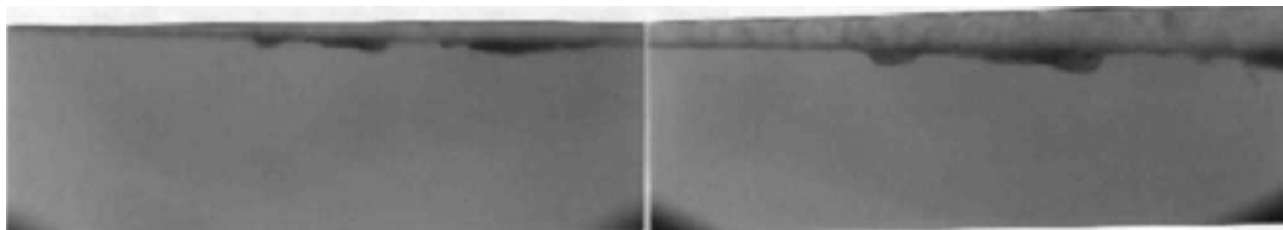


Рис. 2. Мікрофотографії шліфа цегли (1) звичайної, (2) лицьової (x 180).

Одержані дані свідчать, що стійкість водовідштовхуючих покриттів залежить від природи органічного радикалу, будови плівки, глибини її проникнення і від виду водовідштовхуючої плівки, веде до покращення гідрофобних властивостей.

Термічна стійкість силіційорганічних водовідштовхуючих плівок залежить від кількості поверхневих гідроксильних груп кераміки, які вступають у реакцію взаємодії з реакційними групами гідрофобізатора.

Узагальнюючі дані по вивченню теплової деструкції за допомогою методів ІЧ-спектроскопії, термографічного аналізу, змочування при натіканні вказують, що термічна стійкість силіційорганічних водовідштовхуючих захисних покриттів на лицьовій цеглі залежить від форм зв'язку з поверхнею матеріалу, природи і кількості вуглеводневих радикалів біля атому силіцію і температури обробки. При температурах нагрівання до 200 – 280 °С спостерігається певне покращення гідрофобності за рахунок видалення не фіксованих і не орієнтованих шарів гідрофобізатора і фіксації мономолекулярного шару.

Підвищення температури супроводжується тепловою деструкцією з розривом зв'язків Si – C і частковою руйнацією плівки.

Висновок

Дослідженнями встановлено можливість зменшення водопоглинання звичайної і лицьової цегли майже в 5 разів, збільшення морозостійкості на 25 – 40 % силіційорганічними гідрофобізаторами за рахунок ізоляції поверхневих пор утвореною захисною плівкою товщиною 100 – 120 мкм. Зазначимо суттєвий вплив силіційорганічних матеріалів на збільшення довговічності силікатних виробів залежно від виду гідрофобізатора.

Література

1. Гивлюд М.М., Дублянська І.Л., Фактори формування асортименту та рівня якості керамічних виробів // Вісник Львівського університету. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2005. – № 536. – С. 244 – 247.
2. Гивлюд Н.Н., Вахула О.М., Дублянская И.Л. Жаростойкие керамические защитные покрытия / Материалы международной научно – технической конференции „Наука и технология строительных материалов, состояние и перспективы развития”. – Минск. – 2005. – С. 24 – 26.
3. Пашенко А.А. Гидрофобный вспученный перлит. / А.А. Пашенко, М.Т. Воронков, А.А. Крупа. – К.: Наукова думка, 1977. – 204 с.
4. Шилова М.В. Кремнийорганические гидрофобизаторы эффективная защита строительных материалов и конструкций // Строительные материалы, 2003, № 12. – С.40-41.

Надійшла 21.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Доманцевич Н.І.

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ КРИТЕРІЙ ГРАНИЧНОГО СТАНУ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Запропоновано фізико-механічний критерій граничного стану для елементів машин та конструкцій, виготовлених з діелектриків. Критерій міцності для таких матеріалів (наприклад, полімерів) одержано шляхом зв'язку граничного стану з граничним (критичним) значенням компонент тензора діелектричної проникності. Такий критерій міцності дозволяє більш точно, ніж класичні механічні описувати граничний стан діелектриків.

Ключові слова: критерій міцності, граничний стан, діелектрики, полімери.

Physico-mechanical criterion for limit state of machine elements and structures made of dielectrics has been proposed in article. Criterion of the strength of materials (such as polymers) was obtained Limit state and ultimate (critical) value component of the permittivity tensor were combined. Such strength criterion describes the ultimate state of dielectrics more accurate than the classical mechanical criteria.

Keywords: test of strength, limiting state, dielectrics, polymers.

Вступ

Міцність елементів машин, констукцій, виготовлених з полімерних матеріалів залежить як від групи немеханічних факторів (температури, вологості, радіації), так і від таких механічних факторів, як вид напруженого стану, наявність концентраторів, крайового ефекту, розмірів деталі [1, 2, 3, 4]. Існуючі механічні теорії міцності дають більш стабільні результати для металів, ніж для полімерних матеріалів [5].

Відомо, що за своєю структурою полімери можна розділити на лінійні (до яких відносяться оргскло) та сітчасті (до яких відносяться матеріали на базі епоксидних смол). Для лінійних полімерів характерний більш закономірний характер руйнування, ніж для сітчастих. Для сітчастих полімерів, як правило, знаходять статистичні залежності для деяких середніх значень.

Постановка завдання

Метою нашої роботи була розробка критерія міцності, який би дозволяв більш точно, ніж відомі механічні критерії описувати граничний стан полімерів. Для цього запропоновано підхід, який би поєднував механіку та фізику полімерів на макрорівні (тобто, на рівні закономірностей механіки суцільного середовища). Нижче наведено теоретичне обґрунтування запропонованого методу.

Як відомо, полімери відносяться до діелектриків, однією з основних макрофізичних характеристик яких є діелектрична проникність. Оскільки це одна з базових величин, яка інтегрально характеризує фізико-механічний комплекс параметрів діелектрика, логічно зв'язати граничний стан полімеру з граничним значенням компонент тензора діелектричної проникності (ТДП). Такий підхід, на нашу думку, дозволить більш глибоко, в комплексі, оцінювати граничний стан полімерів, ніж існуючі чисто механічні критерії міцності. Крім того, критерій ТДП дозволить більш точно реагувати на, навіть незначні, зміни структури самого полімера, його температури, вологості оточуючого середовища. Оскільки «фізична складова» у питаннях механічної міцності полімерів набагато вагоміша, ніж у випадку виробів з металів.

Результати дослідження

Запишемо рівняння зв'язку компонент ТДП та напруженого стану (рівняння Максвелла):

$$\begin{aligned}c_1 &= c_0 + C_1 s_1 + C_2 (s_2 + s_3) \\c_2 &= c_0 + C_1 s_2 + C_2 (s_1 + s_3) \\c_3 &= c_0 + C_1 s_3 + C_2 (s_1 + s_2),\end{aligned}\tag{1}$$

де c_i ($i=1, 2, 3$) – головні компоненти ТДП;

s_i ($i=1, 2, 3$) – головні компоненти напружень.

C_1, C_2 – абсолютні оптико-механічні постійні діелектрика по напруженням.

Після ряду перетворень, система (1) набуде вигляду:

$$\begin{aligned}\frac{Dc_1}{C_2} &= \frac{C_1}{C_2} s_1 + (s_2 + s_3) \\ \frac{Dc_2}{C_2} &= \frac{C_1}{C_2} s_2 + (s_1 + s_3) \\ \frac{Dc_3}{C_2} &= \frac{C_1}{C_2} s_3 + (s_1 + s_2)\end{aligned}\tag{2}$$

Згідно критерія ТДП руйнування полімеру буде мати місце при виконанні умов:

$$\left(\frac{Dc_i}{C_2}\right)_{\max.} = d_*^0 \quad (3)$$

(i=1, 2, 3),

де d_*^0 - граничне значення відносної компоненти ТДП при даних фізичних умовах (температурі, вологості, радіаційному фоні) та певних механічних факторах (вид напруженого стану, співвідношення компонент напруженого стану, масштабний фактор).

У фундаментальні рівняння Максвелла (1) входять абсолютні оптико-механічні константи діелектрика по напруженням C_1 та C_2 . У той же час, при моделюванні задач механіки соціального середовища за допомогою поляризаційно-оптичного методу використовується базове рівняння закону Вертгейма.

$$\frac{d}{Cd} = S_1 + S_2 \quad (4)$$

де $C = C_1 - C_2$.

У формулі (4) C – відносна оптико-механічна константа по напруженням. У фотопружності C ще називають коефіцієнтом оптичної чутливості прозорого полімера.

З вище наведеного зрозуміло, що визначення абсолютних оптико-механічних констант C_1 та C_2 , їх співвідношення C_1/C_2 та відносного оптико-механічного коефіцієнта $C = C_1 - C_2$ є актуальною та необхідною задачею.

Відносний оптико-механічний коефіцієнт $C = C_1 - C_2$ визначають на стандартних, вже давно застосованих у поляризаційно-оптичному методі таріровочних задачах по розтягу вузької пластинки або стиску диска. Величини абсолютних оптико-механічних констант C_1 та C_2 і відповідно їх співвідношення C_1/C_2 можна визначити за даними градієнтної фотопружності [1], або за допомогою класичного поляризаційно-оптичного методу, проводячи вимірювання для двох різних величин навантаження.

Фізико-механічний критерій зв'язує зміну компонент ТДП та напружено-деформованого стану через оптико-механічні константи:

$$Dc_{ij} = C \cdot S_{ij} \quad (5)$$

Закон Гука у пружній області зв'язує напруження та деформації наступним чином

$$e_{ij} = \frac{1}{E} S_{ij} \quad (6)$$

Рівняння (5) та (6) дозволяють припустити, що між такими базовими константами матеріалу, як оптико-механічна стала та модуль Юнга I роду існує тісний кореляційний зв'язок (рис. 1).

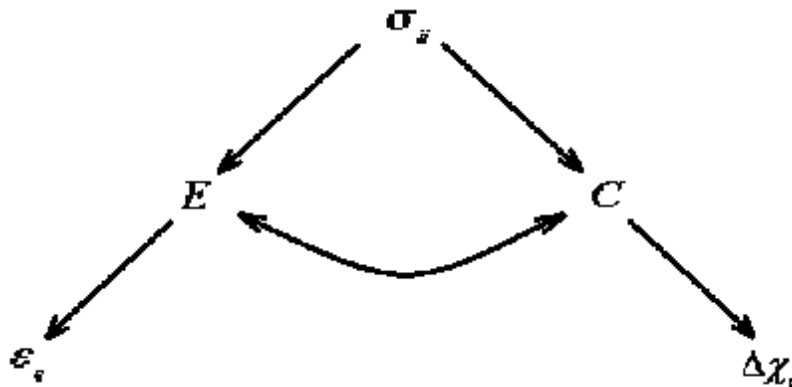


Рис. 1. Графічне зображення зв'язку між оптико-механічно сталою C та модулем Юнга I роду E

Для підтвердження цього припущення проаналізовано дані роботи [4], де вивчались константи матеріалу на базі епоксидно-діанової смоли ЕД – 20 М без та під впливом радіаційного випромінювання. Наведено таблицю, у якій дано величини коефіцієнтів оптичної чутливості C та модуль Юнга I роду E у цьому випадку.

Наведено дані цієї роботи у вигляді таблиці 1, у якій додано стовпчик розрахункових коефіцієнтів кореляції між зміними C та E , несуттєві для нашого аналізу дані роботи [4] не наводяться.

У таблиці 1 дані по зміні величин C та E наведено у формі співвідношень C/C_0 та E/E_0 , відповідно, де C_0 та E_0 – коефіцієнт оптичної чутливості та модуль Юнга I роду для неопроміненого матеріалу.

C , E – ті самі значення при певній дозі опромінення.

Коефіцієнт кореляції для трьох варіантів складу полімерного матеріалу на базі епоксидно-діанової смоли при різних дозах випромінювання був, практично, однакової величини, і становив, у середньому, $r_{xy}^{сер} = -6,6449 \cdot 10^{-1}$.

Розрахункові коефіцієнти кореляції між змінами величини коефіцієнтів оптичної чутливості та модулем Юнга I роду E

Варіант складу полімерного матеріалу	Радіаційне випромінювання	Величина коефіцієнта		Коефіцієнт кореляції
	$M_{\text{рад.}}$	E/E_0	C/C_0	Γ_{xy}
ЕД – 20 М	0	1	1	$-6,6578 \cdot 10^{-1}$
	5	1,45	0,72	
	10	1,63	0,58	
ЕД – 20 М УП-0623 5В.4.	0	1	1	$-6,6446 \cdot 10^{-1}$
	5	1,14	0,90	
	10	1,19	0,85	
ЕД – 20 М УП-0623 10В.4.	0	1	1	$-6,6323 \cdot 10^{-1}$
	5	1,09	0,93	
	10	1,10	0,93	

Така величина коефіцієнта кореляції вказує на досить сильний кореляційний зв'язок між змінами величин оптико-механічної константи C та модулем Юнга I роду E .

Виходячи з фізико-механічного критерія ТДП, підвищення міцності полімерів можливе двома шляхами: зниженням величини оптико-механічної константи C або підвищенням $|Dc_i|_{\text{гран.}}$, тобто збільшенням величини співвідношення $|Dc_i|_{\text{гран.}}/C$. У критерії ТДП цей параметр позначено σ_* . Причому, оскільки оптико-механічна константа C , внаслідок тісного кореляційного зв'язку з модулем пружності I роду E , повинна більше реагувати на структурні зміни матеріалу (наприклад, процес переходу епоксидної смоли у високоеластичний стан, армування полімера волокнами – створення композитів, зміни у структурі під впливом опромінювання), а $|Dc_i|_{\text{гран.}}$ може залежати і від інших факторів. Так, наприклад, при переході матеріалу на базі епоксидної смоли зі скловидного у високоеластичний стан коефіцієнт оптичної чутливості зростає, у середньому, в 40 разів, міцність при цьому знижується у 30-40 разів, тобто $|Dc_i|_{\text{гран.}}$ при цьому змінюється незначно. У той же час зміна температури полімера у незначному діапазоні (10 К-20 К) може досить суттєво змінювати міцність, при практично, незміненому C . Отже, у цьому випадку більший внесок у зміну міцності вносить зміна $|Dc_i|_{\text{гран.}}$.

Висновки

Запропоновано фізико-механічний критерій граничного стану, який базується на граничних значеннях компонент тензора діелектричної проникності.

Встановлено тісний кореляційний зв'язок між оптико-механічною сталою матеріалу C та модулем Юнга I роду E .

Література

1. Кепич Т. Ю. Оптичний метод визначення напружено-деформованого стану об'єктів шляхом аналізу поглинання світла / Т. Ю. Кепич, О. В. Мильніков, Ю. А. Рудяк. – К.: Вісник КНУ, серія фіз.мат.науки, В. 5, 2003. – С. 45-53.
2. Мильніков А. В. Исследование термонапряженного состояния турбинного диска методом радиационной фотоупругости / А. В. Мильніков, В. И. Савченко // Экспериментальные исследования напряжений и деформация / Киев. Ун-т. – Киев, 1983. – С.14-25. Деп. В УкрНИИТИ. 30.01.84. № 131 – Ук 84
3. Табанюхова З.М. Решение задач прочности сооружений с концентраторами методом фотоупругости : автореф. на соиск. науч. степени докт.физ.-мат. наук: спец. 01.02004. «Механика деформируемого твердого тела» / М. В. Табанюхова – Новосибирск, 2006. – 42 с.
4. Heeker F.W. Non-rectilinear light propagation in photoelastic specimens caused by stress gradient / Presented at 1979 SESA Spring Meeting San Francisco, California, May, 1979.
5. Каминский А. А. Механика разрушения полимеров / А. А. Каминский, Д. А. Гаврилов – К: Наук. думка, 1988. – 224 с.

Надійшла 29.1.2013 р.
Статтю представляє: к.т.н. Рудяк Ю.А.

ТОВАРНЕ МАРКУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТИВНО НЕОБХІДНИЙ ЕЛЕМЕНТ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВЗУТТЯ В УМОВАХ РИНКУ

Обґрунтована необхідність використання функцій та складових частин товарної інформації для ідентифікації взуття, забезпечення комплексу його товарознавчих характеристик та гармонізації вітчизняних нормативних вимог до взуття з міжнародними нормами

Ключові слова: товарна інформація, ідентифікація, взуття, товарознавчі характеристики взуття, гармонізація, нормативні документи.

The necessity to use the functions and components of commercial information to identify the shoes of his complex commodity characteristics and harmonization of national regulations to shoes with international norms

Keywords: commodity information, identification, footwear, footwear commodity characteristics, harmonization, regulatory documents.

Вступ

Проблема якості в умовах ринкової економіки є однією з найбільш актуальних проблем промислового виробництва цього товару. Правдиве (заводське, фірмове) взуття має цілу низку конструктивних особливостей, знання яких необхідне як фахівцям виробництва і торгівлі, так і споживачам, зокрема, для вибору раціональних моделей і конструкцій [1]. Забезпечення умов і потрібних результатів ідентифікації взуття в умовах ринку можливе при використанні функцій та елементів товарної інформації як складової комплексу товарознавчих характеристик виробу.

Постановка проблеми

Лібералізація зовнішньої торгівлі спричинила інтенсивне проникнення продукції іноземних товаровиробників на український ринок. Результати численних опитувань (покупців, працівників торгівлі, митної служби та ін.) свідчать, що сучасний Український споживач через низку об'єктивних і суб'єктивних причин має значну схильність до купівлі взуття зарубіжних виробників і при цьому не звертає належної уваги на рівень його споживних властивостей [2].

Сучасне товарознавство трактує споживні властивості взуття як комплекс характеристик його соціального значення, практичної корисності, зручності користування, естетичної досконалості, економічної ефективності виробництва і використання, нешкідливості при виробництві, використанні та утилізації. При цьому кожна окрема властивість, як складова частина означеного комплексу, є об'єктивною особливістю конкретного взуттєвого матеріалу, виготовленої пари взуття і взуття як ринкового товару, яка може бути оцінена. Але встановити за зовнішнім виглядом рівень тієї чи іншої важливої для споживача властивості взуття, яка проявиться в процесі носіння і/чи зберігання, в умовах ринку дедалі складніше не лише пересічному споживачеві, але і фахівцеві. Тому покупець (споживач) дедалі частіше буває введений в оману під час вибору і купівлі взуття. Тому все більшого значення набуває консультативна функція сучасного товарознавства, яка може бути реалізована в умовах ринку, зокрема – за рахунок наукової товарної інформації [3; 4].

Результати та їх обговорення

За результатами засідань, прес-конференцій та круглих столів Ліги українських промисловців-виробників взуття «Укршкірвзуттяпром» відомо, що попри позитивні події в галузі вітчизняного взуттєвого виробництва, в Україні сформувалась система суттєвих проблем у цій сфері. Зокрема: у другому півріччі 2011 року та в січні-лютому 2012 року українськими митниками зафіксовано середній щомісячний імпорт взуття в кількості близько 2 млн. пар. Недавні дослідження показали: 70% покупців вважають, що вони купили взуття з натуральної шкіри, а фактично зі 109 млн. пар китайського взуття, завезеного в Україну торік, лише у 6% випадків матеріал відповідав заявленому [5].

За твердженням фахівців, вироби зі шкіри є відносно дорогими, зокрема справжнє шкіряне чоловіче взуття вартує не менше \$100 за 1 пару, проте шкіра, яка використана у цьому взутті, за важливими для споживача властивостями буває дуже різною. Наприклад, у виробництві взуття використовується багатошаровий матеріал: верхній шар – це натуральна шкіра, яка не пропускає вологи; нижній шар – також шкіра, проте значно нижчого рівня якості, яку просочують різними (найчастіше – невідомими для споживача за хімічним складом) розчинами, фарбують і різними іншими способами імітують під натуральну. Зазвичай, шкіра-імітація на 40-50% дешевша, ніж натуральна шкіра. Але рівень імітації настільки високий, що пересічний споживач (нефахівець в галузі шкіряного виробництва і товарознавства виробів зі шкіри) практично не може відрізнити шкіру-імітацію і натуральну шкіру за органолептичними показниками. В цілому ж, шкіра-імітація має певні властивості, подібні до натуральної шкіри, і загальний рівень споживних властивостей, які відповідають виробам так званого „другого сорту”. Крім того, на ринку є значна кількість взуттєвої продукції, виготовленої з синтетичної шкіри, яку також часто імітують під

натуральну шкіру. Відрізнити сучасну синтетичну шкіру від натуральної також досить складно. Варто відзначити, що у 95% діє правило: якщо видимі краї деталей імпортного взуття зігнуті так, щоб був непомітний її зріз, то це взуття виготовлене із синтетичної шкіри, імітованої під натуральну [6].

Враховуючи викладене вище, та інші негативні реалії сучасного ринку, провідні виробники взуття, що турбуються про свою репутацію, мають намір запровадити інструмент, який допоможе споживачам краще орієнтуватися в ринковому асортименті взуття. Тому у Лізі «Укршкірвзуттяпром» з метою підтримки вітчизняних виробників якісного взуття вперше запропонували програму просування товару кращих виробників, реалізація якої буде здійснюватися за допомогою функцій і окремих складових частин товарної інформації як невід'ємної складової комплексу вимог споживачів до товару під час його придбання. Це особливо актуально тому, що товарна інформація узаконена [7] як складова частина сучасного ринку товарів.

У свою чергу, одним із засобів товарної інформації є товарні знаки [8]. З погляду товарознавства сучасні товарні знаки виконують такі функції: створюють відмінності між товарами; полегшують ідентифікацію товару; виступають гарантом якості товару; надають інформацію про товар та його виробника; рекламують товар; формують престиж продукції; забезпечують правовий захист товару.

Отже, відповідно до означеної вище програми Ліги «Укршкірвзуттяпром» товарні знаки можуть виконувати функцію підказки (ідентифікаційну, інформаційну та мотиваційну). Таким знаком, зокрема, є торговий знак „Виробник з надійною репутацією”. Даний знак Ліга «Укршкірвзуттяпром» дозволяє наносити поряд зі своїм логотипом усім виробникам, які мають хорошу репутацію на ринку. Право на нанесення такого маркування на свою продукцію отримали вже 8 провідних вітчизняних взуттєвих торговельних марок [5], зокрема: InBlu (Київ), BISTFOR і FARO (Бровари), VIKА-S, GAMA, LIV (Дніпропетровськ), BOX&CO (Кривий Ріг), LIZABELLY (Одеса).

Подібна практика існує в країні, яка, як є законодавцем моди на взуття – Італії. Кожна фірма випускає взуття під власною торговою маркою, проте споживач найчастіше не запам'ятовує, виробу якої фірми він купив минулого разу, а орієнтується на бренд «made in Italy». В даному випадку саме бренд служить споживачеві певною гарантією якості та добротної взуття. На жаль, в Україні поки що такої практики немає, проте є чимало виробників, які маркують своє взуття «Зроблено в Україні» [6].

Таким чином, на нашу думку, одним з дієвих шляхів покращання ситуації на вітчизняному ринку взуття може бути рішення уряду України, яке зобов'яже виробників і продавців (аналогічно до практики Європейського Союзу) інформувати споживачів про сировину і матеріали, з яких виготовлене взуття. Таке інформування споживачів про товар уже сьогодні передбачено здійснювати за допомогою об'єктів товарної інформації: товарних знаків, піктограм тощо. Але, на жаль, в Україні означена вимога запроваджується Постановою Кабміну (№ 632 від 09.06. 2011 р.) лише з 2014 р. на основі виданого „Технічного регламенту маркування матеріалів для виробництва основних складових взуття”. Відповідно до даного технічного регламенту імпортне взуття, яке завезене в Україну, повинно відповідати його вимогам; зокрема, інформація про матеріали, з яких виготовлене взуття, повинна вказуватися на маркуванні з використанням піктограм або текстових позначень. Це маркування повинно містити інформацію про три основні складові взуття: матеріал верху взуття, матеріал підкладки заготовки верху взуття, устілку і підошву взуття [9]. (табл.1).

Таблиця 1

Обов'язкові складові маркування взуття

Складові взуття	Піктограми	Текстове позначення
а) Верх (заготівка верху) взуття Верх взуття – це зовнішня поверхня структурної складової, прикріпленої до підошви.		UA Верх взуття RU верх обуви
б) Підкладка та устілка взуття Комплект внутрішніх деталей верху взуття (заготівки) та внутрішня деталь взуття, розташована під усією планетарною частиною стопи		UA Підкладка заготівки та устілка RU подкладка заготовки и стелька
в) Підошва взуття Зовнішня деталь низу взуття, що підлягає зношенню шляхом стирання та прикріплена до верху (заготівки) взуття.		UA підошва взуття RU подошва обуви

Регламент також визначає значки і відповідний текст позначення матеріалів (шкіра, шкіра з покриттям; натуральний, синтетичний або нетканий текстиль; інші матеріали) (рис.1), з яких виготовляються основні складові взуття.

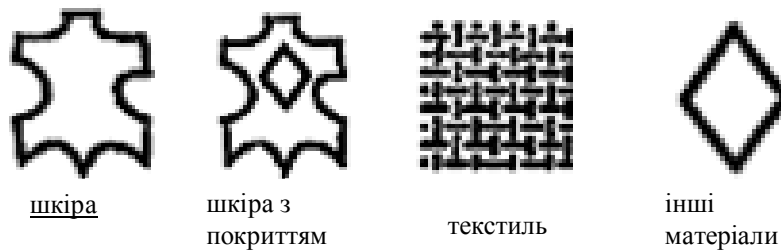


Рис. 1. Значки і текстові позначення матеріалів

Якщо вироблена шкіра була шляхом застосування механічного та / або хімічного процесу розщеплена на частки волокон, фрагменти або порошок і, якщо після цього здійснюється її відновлення з використанням сполучного матеріалу або без нього, у формі листів або будь-якої іншої формі, представлена таким чином шкіра не може називатися «шкірою» [10]. Якщо шкіра має захисне покриття, незалежно від способу нанесення останнього, або приклеєний верхній шар, вони не повинні перевищувати 0,15 міліметра. На маркуванні повинна зазначатись інформація про матеріал, який би становив не менше 80 % площі поверхні верху взуття, підкладки та устілки, а також 80 % обсягу зовнішньої підошви. Якщо немає жодного матеріалу, частка якого б перевищувала 80 %, інформацію слід подавати про два основні матеріали, з яких виготовлено взуття. Інформація про матеріал, передбачена цим технічним регламентом, наголошується на взутті. Виробник або його уповноважена особа, яка є резидентом України, може вибрати певні текстові позначення значка українською мовою. Крім того, маркування позначеннями повинна бути не менше ніж на одній півпарі з пари взуття. Маркування здійснюється шляхом тиснення, приклеювання, гофрування або прикріплення ярлика, повинно бути видимим, добре закріпленим і легко доступним. Крім того, розміри значків повинні бути достатні для зручності розуміння інформації, зазначеної на маркуванні. Якщо ні виробник, ні його уповноважена особа не є резидентами України, це зобов'язання покладається на постачальника [11]. Важливо відзначити, що даний Технічний регламент щодо маркування взуття був розроблений фахівцями Науково-технічного центру підтвердження відповідності, стандартизації та випробувань продукції легкої промисловості і засобів індивідуального захисту ДП «Укрметртрестстандарт».

Вище сказане підтверджує важливість товарної інформації для забезпечення комплексу товарознавчих характеристик ринкового асортименту взуття, які не будуть повноцінно представлені без інформаційної та ідентифікаційної функції, яка, у свою чергу, забезпечується використанням товарних знаків [12].

Висновки

Оцінка міжнародними експертами вітчизняної системи технічного регулювання, проведена в рамках гармонізації вітчизняного законодавства до вимог Євросоюзу та Світової організації торгівлі, засвідчила існування національної системи технічного регулювання. Але вітчизняні суб'єкти господарювання мають значно гірші умови роботи, ніж зарубіжні.

В умовах жорсткої і несправедливої по відношенню до національного виробника, конкуренції на вітчизняному ринку взуття, спричиненої імпортом в Україну контрабандної продукції, наявністю демпінгового мита, низкою недоліків Митного Кодексу і внесених до нього змін, особливої актуальності набуває дотримання правил, встановлених Міжнародним стандартом «ISO 9001: Досягнення конкурентоспроможності за рахунок якості», які визначають, що продукція чи послуги, які пропонуються на ринку повинні: 1). відповідати вимогам та очікуванням споживачів; 2). відповідати законним вимогам. Така діяльність у національному виробництві взуття та на вітчизняному ринку цього товару допоможе досягнути нашій державі принципу, проголошеного Міжнародною організацією зі стандартизації ISO для України: «один стандарт – одне випробування – один сертифікат».

Першим етапом робіт з дотримання міжнародних правил, які забезпечують високий рівень конкурентоспроможності взуття, є врахування світової практики використання товарної інформації та вимог Технічного регламенту (№ 632 від 09.06. 2011 року) маркування матеріалів для виробництва основних складових взуття.

Література

1. Попович Н. І. Проблеми національного ринку взуття / Н. І. Попович // – Товарознавчий вісник : Збірник наукових праць; Луцький національний технічний університет. – Луцьк : редакційно-видавничий відділ ЛНТУ, 2011. – С. 227–233.
2. Половников І. І. Інформаційне забезпечення формування споживних властивостей взуття для скейтбордингу / І. І. Половников, Н. І. Попович. // Легка промисловість. – 2011. – № 1. – С. 13-14.
3. Беднарчук М. С. Товарознавчі аспекти формування національного ринку взуття : монографія / М. С. Беднарчук. – Львів : Вид-во ЛКА, 2009. – 476 с.
4. Кушнір М. К. Товарознавство непродовольчих товарів. Ч. III. Товарознавство взуттєвих товарів / М. К. Кушнір, Н. П. Тихонова. – К.: НМЦ “Укоопосвіта”, 2001. – 266 с.
5. «Укршкірвзуттяпром» за відміну обов'язкової сертифікації дитячого взуття. / Легка

промисловість. – 2012. – №2. – С. 12 – 13.

6. "Укршкірвзуттяпром": В 2011 р. в Україну легально імпортовано на 58,7% взуття менше – 50,4 млн пар [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rbc.ua/ukr/newsline/show/-ukrkozhobuvprom-v-2011-g-v-ukrainu-legalno-importirovano-22032012113600>

7. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про інформацію» № 2938 – VI від 13.01.2011р.

8. Шумский О. В. Информационное обеспечение товаров – современное направление в развитии теоретического товароведения / О. В. Шумский, Н. С. Беднарчук – Качество и безопасность на стоките: XI научна конференция с международно участие. Варна «Икономически университет» - 14-16 октябрия 2010 г. – Изд-во «наука и икономика». – Икономически университет. – Варна. – 2010. – с.215-223.

9. ГП «Укрметрестстандарт» информирует производителей, поставщиков и потребителей о действии Технического регламента по маркировке обуви [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrcsm.kiev.ua/index.php/ru/2009-02-03-14-12-12/538-gp-lukrmetrteststandartr-informiruet-proizvoditelej-postavshhikov-i-potrebitelej-o-dejstvii-texnicheskogo-reglamenta-po-markirovke-obuvi->

10. Про технічне регулювання в Україні. – 2011. – URL: <http://www.buildcentr.com/services/main/2011-02-07-06-40-01>

11. «Вироблено в Україні» лише для закордону? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ukrlegprom.org.ua/ua/statti/virobleno_v_ukraini.html.

12. Полікарпов І. С. Товарна інформація – сучасний напрям розвитку теоретичних основ товарознавства / І. С. Полікарпов, О. В. Шумський // Вісник КНТЕУ № 2/2005. – Спецвипуск матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Наука про торгівлю» - Частина II. – С. 18-23.

Надійшла 22.1.2013 р.
Статтю представляє: Попович Н.І.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису

<http://visniktup.narod.ru/rules/>

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол №6 от 23.01.2013 р.**

Підп. до друку 24.01.2013 р. Ум.друк.арк. 30,35 Обл.-вид.арк. 28,87

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